



Ricerca di Sistema elettrico

Studio sperimentale del microclima interno in edifici pubblici del Sulcis.

C. Frau, E. Loria, A. Madeddu, F. Poggi

STUDIO SPERIMENTALE DEL MICROCLIMA INTERNO IN EDIFICI PUBBLICI DEL SULCIS

Caterina FRAU, Eusebio LORIA, Alessandra MADEDDU, Francesca POGGI

Settembre 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia elettrica negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: Edifici ad energia quasi zero (NZEB), Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici

Parte B: Attività Polo Tecnologico del Sulcis

B.1 Attività SOTACARBO

Obiettivo: Studio del microclima interno negli edifici pubblici del territorio del Sulcis

Responsabile del Progetto: Luciano Terrinoni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Studi sulla riqualificazione energetica negli edifici pubblici del territorio del Sulcis*"

Responsabile scientifico ENEA: Paolo Deiana.

Responsabile scientifico SOTACARBO: Enrico Maggio

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 LA QUALITÀ GLOBALE DEGLI AMBIENTI INTERNI.....	6
2.1 IL COMFORT TERMICO	6
2.1.1 <i>I parametri che definiscono il comfort</i>	9
2.1.2 <i>Il comfort termico locale</i>	14
2.1.3 <i>Il quadro normativo</i>	14
2.2 IL COMFORT RELATIVO ALLA QUALITÀ DELL'ARIA	14
2.2.1 <i>Gli inquinanti negli ambienti interni</i>	15
2.2.2 <i>Il quadro normativo</i>	16
2.3 IL COMFORT ILLUMINOTECNICO.....	17
2.3.1 <i>Il quadro normativo</i>	19
3 MODALITÀ E STRUMENTI DI MISURA PER L'ANALISI DELLA QUALITÀ DEGLI AMBIENTI INTERNI	21
3.1 STRUMENTI PER LA MISURA DEI PARAMETRI DI COMFORT	21
3.2 STRUMENTI PER LA MISURA DEI PARAMETRI TERMOIGROMETRICI ESTERNI.....	26
3.3 STRUMENTI PER LA MISURA DEI PARAMETRI ILLUMINOTECNICI	26
4 ANALISI DI EDIFICI	28
5 ANALISI DI EDIFICI PUBBLICI AD USO SCOLASTICO	29
5.1 SCUOLA PRIMARIA "IS GANNAUS"	31
5.2 SCUOLA PRIMARIA "IS MEIS"	55
5.3 ESITO DEL MONITORAGGIO.....	81
6 ANALISI DI UN EDIFICIO PUBBLICO AD USO UFFICI	84
6.1 IL CENTRO RICERCHE SOTACARBO	84
6.1.1 <i>L'intervento di ripristino urbanistico</i>	84
6.1.2 <i>Il riuso della struttura</i>	86
6.2 FASE DI MONITORAGGIO	88
6.3 ESITO DEL MONITORAGGIO.....	138
7 CONCLUSIONI.....	139
8 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	141

Sommario

Il presente lavoro approfondisce e analizza la qualità globale degli ambienti interni negli edifici. Diversi sono gli obiettivi: studiare i parametri che definiscono la qualità di un ambiente interno, studiare le metodologie di indagine in funzione degli obiettivi delle analisi ed infine analizzare l'influenza degli occupanti nella gestione dei parametri indoor.

Nella prima parte del lavoro è stato eseguito un approfondimento sui parametri che caratterizzano gli ambienti interni: il comfort termoigrometrico, la qualità dell'aria, la qualità illuminotecnica. Per ognuno di essi sono state analizzate le normative e le linee guida vigenti.

Nella seconda parte del lavoro vengono approfondite le tecniche di misura, quali monitoraggi tramite strumentazione e indagini soggettive mediante questionari. Le strumentazioni specifiche acquistate ed utilizzate nei casi studio riportati nel capitolo seguente, sono descritte in termini di componenti e uso.

Per analizzare le tematiche del comfort termico, illuminotecnico, della gestione e salubrità (salute e benessere degli occupanti) sono stati scelti edifici pubblici situati nel comune di Carbonia, nel SE della Sardegna.

In particolare sono state approfondite tematiche di qualità dell'aria, ventilazione, salubrità, efficienza energetica ed impiantistica in un edificio pubblico storico ad uso uffici e in edifici pubblici ad uso scolastico.

1 Introduzione

Questo lavoro si inserisce negli studi svolti in seno all'accordo di collaborazione tra ENEA e Sotacarbo rivolto allo sviluppo di una ricerca dal titolo "Studi sulla riqualificazione energetica negli edifici pubblici del territorio del Sulcis" facente capo al piano annuale di realizzazione 2015 dell'Accordo di Programma MSE-ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico, ed in particolare agli ambiti attinenti l'Area "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali e interazione con altri vettori energetici, Tema di Ricerca "Edifici a energia quasi zero (NZEB)", progetto D.2 "Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici mirata a conseguire il raggiungimento di edifici a energia quasi zero (NZEB).

Gli obiettivi generali dell'attività sono rivolti all'efficientamento del patrimonio pubblico. Lo sviluppo delle tecnologie per l'efficienza energetica, l'uso di tecnologie e la conoscenza di dati tipologici e dei consumi energetici degli edifici pubblici sono le principali azioni con le quali è possibile far fronte alla riduzione dei consumi termici e alla diminuzione della richiesta di energia elettrica nel settore. Le attività previste costituiscono una base finalizzata alla caratterizzazione del patrimonio edilizio pubblico esistente sulla Regione Sardegna, e allo sviluppo di una metodologia per interventi di efficienza energetica in edifici vincolati nel territorio del Sulcis.

In un'ottica di eco-sostenibilità, il progetto edilizio e impiantistico deve contemplare le soluzioni tecniche di carattere strutturale, e quelle di carattere gestionale (dispositivi per la regolazione locale dei parametri ambientali, configurazioni atte a consentire l'illuminazione naturale o il raffrescamento notturno) che consentano all'utente di gestire correttamente il sistema edificio impianto, ottenendo soddisfacenti livelli di comfort con il minimo consumo di risorse energetiche. I consumi di energia per riscaldamento, ventilazione climatizzazione e illuminazione di un edificio sono direttamente influenzati dal livello di comfort ambientale. I consumi energetici possono poi subire significative variazioni in relazione a molteplici aspetti quali ad esempio aspettative di comfort dell'utente (valori di set point per temperatura, umidità relativa, qualità dell'aria, illuminamento, etc), e disponibilità di risorse naturali per il controllo del microclima (numero di ore di luce naturale, numero di ore in estate in cui l'aria esterna è utilizzabile per raffrescare gli ambienti etc), strategie che l'utente adotta per il controllo ambientale (programmazione temporale dei valori di set point, uso dell'illuminazione artificiale, apertura e chiusura delle finestre, etc), pertanto non ha senso occuparsi della qualità energetica di un edificio senza contemporaneamente determinare il livello di qualità dell'ambiente interno cui ci si riferisce, sia esso di progetto oppure in esercizio [1].

Risulta pertanto necessario comprendere da cosa dipendono principalmente i consumi energetici degli edifici, studiare gli scambi termici attraverso i componenti dell'involucro opaco e trasparente e analizzare la qualità degli impianti. Il miglioramento di questi componenti deve però necessariamente tener in considerazione le esigenze delle persone, al fine di garantire un adeguato livello di comfort. A livello europeo sono state promosse azioni comunitarie per la promozione della riduzione dei consumi in edilizia miranti ad accelerare le azioni di risparmio energetico e a ridurre le differenze tra i vari stati membri, attraverso la definizione di un quadro normativo di riferimento, in modo da coordinare gli interventi nel settore edilizio. Gli obiettivi da raggiungere, sia per gli edifici nuovi che per quelli esistenti si possono riassumere in:

- Sviluppo delle energie rinnovabili;
- Uso efficiente dell'energia nel settore edilizio e domestico;
- Riduzione di consumi con l'obiettivo del comfort indoor.

Sulla base di tali considerazioni si sono attrezzati alcuni edifici pubblici con centraline di misura dotate di sensori di microclima interno (in termini di temperatura, umidità, concentrazione di CO₂), del tipo acquisito nel corso della precedente annualità e di nuova acquisizione, integrate con nuovi sistemi/sensori e, sulla base dei dati misurati si sono determinati alcuni indici relativi alla qualità dell'aria interna. Tale studio stabilisce una baseline in vista della riqualificazione energetica dell'edificio.

2 La qualità globale degli ambienti interni

I fattori ambientali più importanti per garantire il benessere degli occupanti e il contenimento dei consumi energetici sono il microclima interno, la concentrazione di sostanze inquinanti disperse nell'aria e depositate sulle superfici, la qualità e l'intensità luminosa e acustica.

La qualità degli ambienti interni è il risultato sinergico delle soluzioni progettuali, della scelta dei materiali da costruzione, degli arredi e delle modalità di funzionamento, manutenzione e controllo degli impianti: la gestione della qualità degli ambienti interni richiede dunque una strategia integrata di monitoraggio, verifica e ottimizzazione delle diverse componenti dell'ambiente, dalla fase preliminare del progetto, alla realizzazione e all'utilizzo-manutenzione dell'edificio.

Attraverso i parametri fisico-ambientali, quali la temperatura, l'umidità relativa, la qualità dell'aria, l'illuminazione e la ventilazione, viene determinata la sensazione di comfort, come complessa risposta di un insieme di fattori ambientali, dell'ambiente fisico e dei servizi ma anche delle condizioni fisiologiche individuali, come la salute e le relazioni sociali.

Il concetto di comfort ha subito una forte evoluzione nel tempo, da un lato perché si è cercato di tener conto man mano dei vari aspetti del comfort, ma anche perché dall'altro lato gli stessi obiettivi del comfort si sono evoluti nel tempo. In passato le normative indicavano limiti sui valori di solo alcuni dei parametri indoor quali ad esempio la temperatura o l'umidità relativa. Uno dei principali limiti di questa impostazione è il considerare separatamente i diversi aspetti della qualità indoor. A partire da ciò, tale concezione si è così evoluta nel concetto di indici di voto medio previsto (PMV) e percentuale di persone insoddisfatte (PPD). Data la complessità dei molteplici parametri che concorrono a definire l'ambiente indoor sono stati definiti più livelli, ai quali corrispondono valori limite sempre più stringenti all'aumentare del livello di qualità indoor richiesto. La qualità indoor viene considerata nella sua globalità, coinvolgendo infatti molti parametri misurabili tramite strumentazione. Con il progredire delle ricerche è stato definito un nuovo metodo di comfort adattativo per analizzare la qualità degli ambienti interni. Tale approccio estende il concetto di qualità globale, andando ad approfondire anche la percezione dell'utente nei confronti dell'ambiente. Il concetto di adattamento ad un ambiente si basa sulla variabilità delle aspettative climatiche degli occupanti, che manifestano un ruolo attivo, responsabile, nella gestione del microclima interno, riducendo il controllo dei sistemi impiantistici a favore delle opportunità di adattamento offerte dall'edificio stesso.

Alcuni studi [2] hanno dimostrato una maggiore tolleranza da parte degli individui a condizioni microclimatiche "meno stringenti" (intese come ampiezza degli intervalli di temperatura ritenuti accettabili) nel caso di ambienti con ventilazione naturale, nei quali le persone possono attivare meccanismi di regolazione di tipo comportamentale, fisiologico e psicologico che inducono una più ampia accettabilità delle condizioni termofisiche [3]. Alla base di queste considerazioni, risiede l'assunto che secondo l'approccio del comfort adattativo la sensazione di benessere provata da un individuo non può essere spiegata esclusivamente dalle equazioni di bilancio termico tra persona e ambiente circostante, ma deve tener conto di altri fattori, di natura comportamentale, culturale, sociale, contestuale, che sono in grado di alterare la sensazione termica percepita. L'influenza di tali fattori è tanto maggiore quanto più l'ambiente nel quale l'individuo si trova presenta un controllo climatico naturale [4], cioè nel quale il microclima non è artificialmente creato e imposto da un impianto, ma è anche solo parzialmente frutto di un'azione diretta dell'utente.

2.1 Il comfort termico

Il comfort termico rappresenta, da un punto di vista psicofisico, lo stato di benessere che un individuo percepisce nell'ambiente in cui vive e opera. Per far sì che tale condizione permanga, deve essere garantito l'equilibrio tra il flusso termico generato dall'organismo ed i flussi di calore dispersi dallo stesso. L'equazione del bilancio termico del corpo umano, soggetto ad una prolungata esposizione in un ambiente termicamente stazionario, è rappresentata dalla seguente equazione:

$$S = M - W - E - R_{res} - C - R - C_k \quad (1)$$

dove:

- S è la variazione dell'energia termica interna corporea nell'unità di tempo (potenza acquistata o ceduta) [W];
- M è la potenza termica prodotta dal corpo umano per effetto del metabolismo [W];
- W è la potenza meccanica scambiata tra il corpo e l'ambiente [W], funzione dell'attività svolta;
- E è la potenza termica dispersa per effetto dell'evaporazione attraverso la pelle [W], definita come

$$E = w(p_{vs} - p_a) R_T \quad (2)$$

in cui:

w, frazione di pelle bagnata [%];
 p_{vs} , pressione di vapore saturo alla temperatura della pelle;
 p_a , pressione parziale del vapor d'acqua nell'aria ambiente;
 R_T , resistenza evaporativa totale di aria ed abbigliamento;
 $\varphi_a = \frac{p_a}{p_{vs}}$, umidità relativa dell'aria;

- R_{res} è la potenza termica dispersa nella respirazione [W] (funzione di attività svolta, umidità relativa aria, temperatura dell'aria), costituita da una quota di calore sensibile C_{res} e da una quota di calore latente E_{res} :

$$C_{res} = \frac{c_p m (t_{ex} - t_a)}{A_{Du}} \quad (3)$$

in cui:

c_p , calore specifico dell'aria secca $\left[\frac{J}{kg}\right]$;
 m , portata della ventilazione nella respirazione $\left[\frac{kg}{s}\right]$;
 t_{ex} , temperatura dell'aria espirata [$^{\circ}C$];
 A_{Du} , superficie del corpo [m^2];

$$E_{res} = \frac{m(x_{ex} - x_a)r}{A_{Du}} \quad (4)$$

in cui:

x_{ex} , titolo dell'aria espirata [$^{\circ}C$] dato dal rapporto $\left[\frac{Massa_{vapore}}{Massa_{aria\ secca}}\right]$;
 x_a , titolo dell'aria ambiente [$^{\circ}C$];
 r , calore latente di vaporizzazione $\left[\frac{J}{kg}\right]$;

- C è la potenza termica scambiata per convezione [W]

$$C = h_c f_{cl} (t_{cl} - t_a) \quad (5)$$

in cui:

h_c , coefficiente di scambio termico convettivo $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$ che dipende anche dalla velocità dell'aria $v_c \left[\frac{m}{s}\right]$;
 f_{cl} , fattore di riduzione dell'abbigliamento, espresso in funzione della resistenza termica del vestiario I_{cl} ;
 t_{cl} , temperatura media del corpo umano vestito [$^{\circ}C$];
 t_a , temperatura di bulbo secco dell'aria [$^{\circ}C$];

- R è la potenza termica ceduta per irraggiamento [W]

$$R = h_r f_{cl} (t_{cl} - \bar{t}_r) \quad (6)$$

in cui:

h_r è il coefficiente di scambio termico radiativo $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$;
 \bar{t}_r è la temperatura media radiante delle superfici del locale $[^{\circ}C]$;
 t_{cl} è la temperatura media del corpo umano vestito $[^{\circ}C]$;

- C_K è la potenza termica ceduta per conduzione [W];

Affinché si realizzi una condizione di benessere termico è necessario che la quantità di energia prodotta all'interno del corpo con il metabolismo sia pari a quella ceduta dal corpo all'ambiente ($S = 0$). Tuttavia, la condizione di equilibrio è indispensabile ma non sufficiente per il raggiungimento del benessere termico. Sviluppando i singoli termini dell'equazione del bilancio energetico del corpo umano e tenendo conto delle relazioni appena descritte, si ottiene un'equazione del benessere che dipende principalmente da sei parametri:

- due parametri soggettivi, legati al comportamento dell'individuo nell'ambiente:
 1. il metabolismo energetico M dipende unicamente dall'attività svolta dall'individuo e quindi dalla quantità di energia potenziale chimica che, prodotta dall'assunzione di cibi, si trasforma in energia termica. La potenza metabolica viene riferita all'unità di superficie corporea $[W/m^2]$ ed è più frequentemente misurata in met ($1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2$). Indicativamente, 1 met equivale alla potenza metabolica specifica di un individuo sano in posizione seduta ed a riposo (convenzionalmente $A = 1,8 \text{ m}^2$, per persona alta m 1,70 e pesante Kg 70). La potenza metabolica aumenta al crescere dell'attività fisica e/o intellettuale. È possibile misurarla direttamente, valutando il consumo d'ossigeno, o desumerla dalle tabelle riportate da specifiche norme tecniche. La tabella 2.1 riportata di seguito ne fornisce un estratto.

Tabella 2.1. Valori di metabolismo per diverse attività fisiche - norma UNI EN ISO 7730

Attività	Metabolismo energetico	
	W/m^2	met
Disteso	46	0,8
Seduto, rilassato	58	1
In piedi, rilassato	70	1,2
Attività sedentaria (ufficio, casa scuola, laboratorio)	70	1,2
Attività in piedi (compere, laboratorio, industria leggera)	93	1,6
Attività in piedi (commesso, lavori domestici, lavori a macchina)	116	2
Attività moderata (lavoro pesante a macchina, lavoro in garage)	165	2,8

2. La resistenza termica dell'abbigliamento I_{cl} , dipende dal tipo di vestiario indossato dall'occupante. Gli abiti formano, infatti, una barriera agli scambi che avvengono per irraggiamento, convezione e conduzione tra il corpo umano e l'ambiente circostante. Generalmente la resistenza che i capi di vestiario oppongono agli scambi di calore viene misurata in clo ($1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2C/W$). Nella seguente tabella 2.2 si riportano valori tipici della resistenza termica di alcuni tipici abbigliamento.

Tabella 2.2. Valori di resistenza termica per diversi tipi di abbigliamento - norma UNI EN ISO 7730

Abbigliamento	Icl (clo)
Nudo	0
Tipico abbigliamento tropicale: mutande, pantaloncini, camicia a maniche corte con collo sbottonato, calzini leggeri e sandali.	0,3
Abbigliamento leggero estivo: mutande, pantalone leggero, camicia a maniche corte con collo sbottonato, calzini leggeri e scarpe.	0,5
Abbigliamento da lavoro leggero: mutande, maglia intima, camicia a maniche lunghe, pantaloni da lavoro, calzini di lana, scarpe.	0,7
Tipico abbigliamento invernale per ambienti chiusi: mutande, maglia intima, camicia a maniche lunghe, pantaloni, giacca pullover a maniche lunghe, calzini pesanti, scarpe.	1
Abito tradizionale pesante all'europea: biancheria intima di cotone con maglia a maniche lunghe, pantaloni	1,5

- quattro parametri ambientali, dipendenti dalle condizioni microclimatiche rilevabili mediante l'utilizzo di apposita strumentazione:
 1. La temperatura dell'aria T_a [°C], che influenza gli scambi termici convettivi tra l'uomo e l'ambiente.
 2. L'umidità relativa dell'aria interna UR_a [%]; parametro climatico importante per gli effetti che può avere sugli organismi biologici dal momento che influenza gli scambi di vapore acqueo tra l'organismo stesso e l'ambiente.
 3. La temperatura media radiante T_{mr} [°C], che influenza gli scambi termici radiativi e rappresenta la media ponderata delle temperature delle pareti interne che delimitano un ambiente e il corpo umano.
 4. La velocità dell'aria v_a [m/s], ovvero la ventilazione di un ambiente, che agisce direttamente sia sul benessere termico degli individui (le correnti d'aria provocano situazioni di discomfort), sia sulla qualità dell'aria interna e quindi sulle condizioni di salute degli occupanti.

La temperatura dell'aria è il valore fornito da un sensore che deve essere in equilibrio con l'aria e non deve essere esposto a radiazione da parte di corpi a temperatura diversa da quella dell'aria stessa, per cui è necessari venga dotato di adeguata schermatura.

L'umidità relativa o grado igrometrico è definita come il rapporto tra la pressione parziale del vapore d'acqua nell'aria e la pressione di saturazione, che a sua volta dipende dalla temperatura dell'aria. La valutazione del grado igrometrico dunque, è legata alla valutazione della pressione parziale.

La velocità dell'aria è generalmente misurata tramite strumenti "a filo caldo", che si basano sulla proporzionalità esistente tra velocità dell'aria e scambio termico convettivo tra un elemento caldo e l'aria stessa. Di norma sono usati sensori omnidirezionali, generalmente costituiti da un elemento caldo sferico, mentre gli elementi caldi cilindrici unidirezionali possono essere impiegati solo in caso si conosca la direzione dell'aria (per misure di velocità in canali, ad esempio).

La temperatura piana radiante è la temperatura di un'ideale cavità isoterma in cui il flusso radiante incidente su una faccia di un elemento piano è uguale a quello presente nell'ambiente reale. La temperatura media radiante può essere valutata tramite:

- Globotermometro;
- Composizione delle temperature piane;
- Uso dei fattori di vista.

2.1.1 I parametri che definiscono il comfort

I parametri che influenzano il comfort termico non producono le medesime sensazioni sulle persone che occupano lo stesso ambiente, dunque, se valutati singolarmente non forniscono un'indicazione rilevante

nella valutazione globale del comfort o discomfort termico in cui si trova un individuo. Negli ambienti moderati, scuole e uffici, la determinazione analitica e l'interpretazione del benessere termico avviene secondo la UNI EN ISO 7730, con il calcolo degli indici di Fanger: il PMV (Predicted Mean Vote) e il PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). Questi, essendo funzione dei sei parametri sopra citati, valutano il comfort termico globalmente. Il voto medio previsto è una funzione matematica che correla i quattro parametri ambientali ai due soggettivi, ed esprime il valore medio dei voti di un campione significativo di persone, su una scala di sensazione termica a 7 punti riportata in tabella 2.3.

Tabella 2.3. Scala di valutazione dell'ambiente termico

PMV	PPD %	VALUTAZIONE AMBIENTE TERMICO
+3	100	Molto caldo
+2	75,7	Caldo
+1	26,4	Leggermente caldo
+0,85	20	Ambiente termicamente accettabile
+0,5 < PMV < -0,5	<10	Benessere termico
-0,85	20	Ambiente termicamente accettabile
-1	26,8	Fresco
-2	76,4	Freddo
-3	100	Molto freddo

All'indice PMV è associato l'indice PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), che esprime la percentuale di persone insoddisfatte delle condizioni climatiche in esame. La relazione fra PPD e PMV, mostrata in figura 2.1 è data dall'equazione:

$$PPD = 100 - [95 \times e^{-(0,03353 PMV^4 - 0,2179 PMV^2)}] \tag{7}$$

dalla quale si può osservare che anche per un PMV = 0 esiste una percentuale di insoddisfatti pari al 5 %.

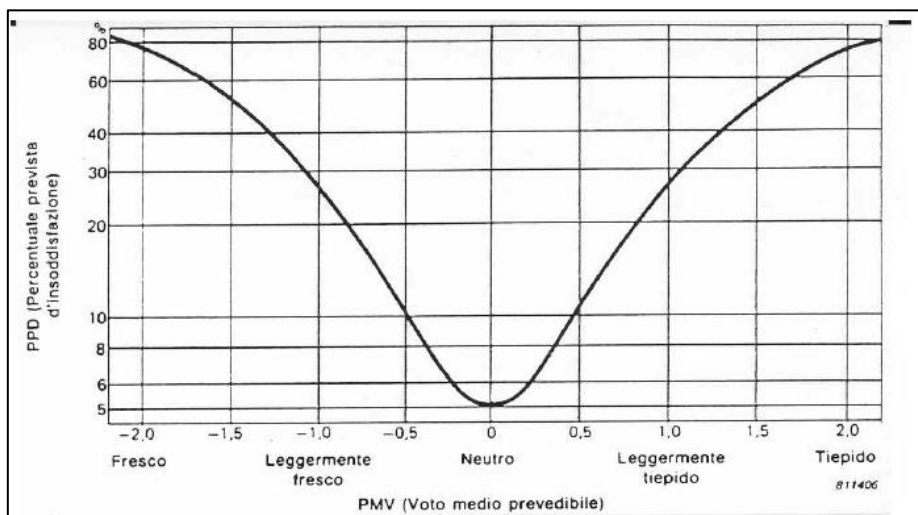


Figura 2.1. Percentuale prevista di insoddisfatti (PPD) in funzione del voto medio previsto (PMV).

Secondo la norma ISO 7730, si definiscono “condizioni di comfort” quelle caratterizzate da valori di PMV compresi tra -0,5 e +0,5, e “condizioni di neutralità termica” quelle con PMV = 0. Sulla base delle indicazioni della normativa, l'intervallo di applicabilità degli indici di Fanger per ambienti moderati è il seguente:

Tabella 2.4. Intervallo di variazione dei parametri – NORMA ISO 7730

Quantità	Simbolo	Intervallo di applicabilità
Temperatura dell'aria	t_a	10 – 30 °C
Temperatura media radiante	t_r	10 – 40 °C
Velocità dell'aria	v_a	0 – 1 m/s
Umidità relativa	u_{ra}	30 – 70 %
Attività metabolica	M	0,8 – 4 Met
Resistenza termica del vestiario	I_{cl}	0 – 2 clo

Il PMV può essere determinato sia attraverso opportuni programmi di calcolo, che con uno dei tre metodi seguenti:

- Metodo analitico, sulla base delle indicazioni della norma ISO 7730:

$$\begin{aligned}
 PMV = & [0,0303 \cdot \exp(-0,036 M) + 0,028] \cdot \{(M - W) - 3,05 \cdot 10^3 \\
 & \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \\
 & \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] \\
 & - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\}
 \end{aligned}$$

- Metodo grafico: si può ricorrere ad un diagramma generale del benessere termico globale tracciato sperimentalmente (figura 2.2), per valori di umidità relativa $u_{ra} = 50\%$. Si riportano: nell'ascissa, la resistenza termica del vestiario I_{cl} (clo); nell'ordinata di destra, i vari tipi di attività, da quella sedentaria in alto a quella pesante in basso; nell'ordinata di sinistra, il valore della temperatura operativa¹. Le curve a tratto continuo rappresentano le condizioni ottimali di neutralità termica (PMV=0) per valori di tasso metabolico compresi tra 0,8 e 3,0 met; quelle tratteggiate indicano lo scostamento possibile della temperatura operativa dal valore ottimale nella zona di benessere ($-0,5 \leq PMV \leq +0,5$). Per bassi valori del grado d'abbigliamento, si nota che lo scarto dalla temperatura operativa ottimale è minore perché il corpo è meno coperto, e quindi risente in maggior misura delle variazioni termiche.

¹ Temperatura operativa: è un indicatore parziale del benessere termico e rappresenta la temperatura percepita dagli individui all'interno di un ambiente. Rigorosamente occorrerebbe calcolarla come: $t_0 = \frac{h_r t_{mr} + h_c t_a}{\alpha}$ ($\alpha = h_c + h_r$ coefficiente di adduzione termica sulla superficie corporea). Per ambienti termici moderati, è possibile approssimare il calcolo alla media tra la temperatura media radiante e la temperatura dell'aria $t_0 = \frac{t_{mr} + t_a}{2}$.

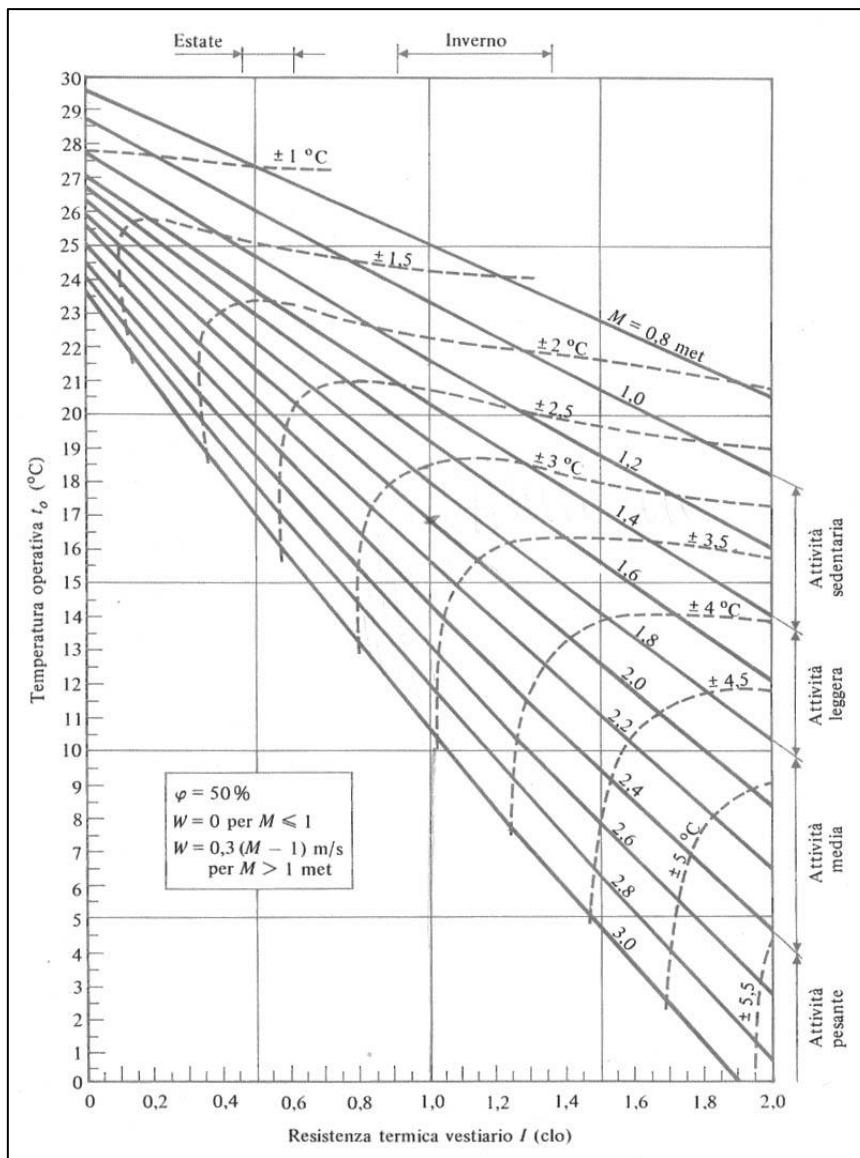


Figura 2.2. Diagramma generale del benessere termico globale tracciato sperimentalmente.

- Metodo tabellare: per determinare l'indice PMV, la norma ISO 7730 fornisce delle tabelle, i cui valori sono calcolati sulla base del metodo analitico, per differenti combinazioni di attività, tipologia di vestiti, temperatura operativa e velocità relativa. Nella grafica seguente (tabella 2.5) si riporta il calcolo dell'indice PMV, per attività con dispendio energetico pari a 1,2 met.

Tabella 2.5. Calcolo dell'indice PMV per attività con dispendio energetico pari a 1,2 met (ufficio)

Abbigliamento clo	Temperatura operativa *	Velocità relativa dell'aria m/s							
		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0	25	-1,33	-1,33	-1,59	-1,92				
	26	-0,83	-0,83	-1,11	-1,40				
	27	-0,33	-0,33	-0,63	-0,88				
	28	0,15	0,12	-0,14	-0,36				
	29	0,63	0,56	0,35	0,17				
	30	0,10	1,01	0,84	0,69				
	31	1,57	1,47	1,34	1,24				
	32	2,03	1,93	1,85	1,78				

0,25	23	-1,18	-1,18	-1,39	-1,61	-1,97	-2,25		
	24	-0,79	-0,79	-1,02	-1,22	-1,54	-1,80	-2,01	
	25	-0,42	-0,42	-0,64	-0,83	-1,11	-1,34	-1,54	-2,21
	26	-0,04	-0,07	-0,27	-0,43	-0,68	-0,89	-1,06	-1,65
	27	0,33	0,29	-0,11	-0,33	-0,25	-0,43	-0,58	-1,09
	28	0,71	0,64	0,49	0,37	0,18	0,03	-0,10	-0,54
	29	1,07	0,99	0,87	0,77	0,61	0,49	0,39	0,02
	30	1,43	1,35	1,25	1,17	1,05	0,95	0,87	0,58
	<hr/>								
0,50	18	-2,01	-2,01	-2,17	-2,38	-2,70			
	20	-1,41	-1,41	-1,58	-1,76	-2,04	-2,25	-2,42	
	22	-0,79	-0,79	-0,97	-1,13	-1,36	-1,54	-1,69	-2,17
	24	-0,17	-0,20	-0,36	-0,48	-0,68	-0,83	-0,95	-1,35
	26	0,44	0,39	0,26	0,16	-0,01	-0,11	-0,21	-0,52
	28	1,05	0,98	0,88	0,81	0,70	0,61	0,54	-0,31
	30	1,64	1,57	1,51	1,46	1,39	1,33	1,29	1,14
	32	2,25	2,20	2,17	2,15	2,11	2,09	2,07	1,99
	<hr/>								
0,75	16	-1,77	-1,77	-1,91	-2,07	-2,31	-2,49		
	18	-1,27	-1,27	-1,42	-1,56	-1,77	-1,93	-2,05	-2,45
	20	-0,77	-0,77	-0,92	-1,04	-1,23	-1,36	-1,47	-1,82
	22	-0,25	-0,27	-0,40	-0,51	-0,66	-0,78	-0,87	-1,17
	24	0,27	0,23	0,12	0,03	-0,10	-0,19	-0,27	-0,51
	26	0,78	0,73	0,64	0,57	0,47	0,40	0,34	-0,14
	28	1,29	1,23	1,17	1,12	1,04	0,99	0,94	0,80
	30	1,80	1,74	1,70	1,67	1,62	1,58	1,55	1,46
	<hr/>								
1,00	16	-1,18	-1,18	-1,31	-1,43	-1,59	-1,72	-1,82	-2,12
	18	-0,75	-0,75	-0,88	-0,98	-1,13	-1,24	-1,33	-1,59
	20	-0,32	-0,33	-0,45	-0,54	-0,67	-0,76	-0,83	-1,07
	22	1,13	0,10	0,00	-0,07	-0,18	-0,26	-0,32	-0,52
	24	0,58	0,54	0,46	0,40	0,31	0,24	0,19	0,02
	26	1,03	0,96	0,91	0,86	0,79	0,74	0,70	0,57
	28	1,47	1,42	1,37	1,34	1,28	1,24	1,21	1,12
	30	1,91	1,86	1,83	1,81	1,78	1,75	1,73	1,67
	<hr/>								
1,25	14	-1,12	-1,12	-1,24	-1,34	-1,48	-1,58	-1,66	-1,90
	16	-0,74	-0,75	-0,86	-0,95	-1,07	-1,16	-1,23	-1,45
	18	-0,36	-0,38	-0,48	-0,55	-0,66	-0,74	-0,81	-1,00
	20	0,02	-0,01	-0,10	-0,16	-0,26	-0,33	-0,38	-0,55
	22	0,42	0,38	0,31	0,25	0,17	0,11	0,07	-0,06
	24	0,81	0,77	0,71	0,66	0,60	0,55	0,51	0,39
	26	1,21	1,16	1,11	1,06	1,03	0,99	0,96	0,87
	28	1,60	1,56	1,52	1,50	1,46	1,43	1,41	1,34
	<hr/>								
1,50	12	-1,09	-1,09	-1,19	-1,27	-1,39	-1,48	-1,55	-1,75
	14	-0,75	-0,75	-0,86	-0,93	-1,03	-1,11	-1,17	-1,35
	16	-0,41	-0,42	-0,51	-0,58	-0,67	-0,74	-0,79	-0,96
	18	-0,06	-0,09	-0,17	-0,22	-0,31	-0,37	-0,42	-0,56
	20	0,28	0,25	0,18	0,13	0,05	0,00	-0,04	-0,16
	22	0,63	0,60	0,54	0,50	0,44	0,39	0,36	0,25
	24	0,99	0,95	0,91	0,87	0,82	0,78	0,76	0,67
	26	1,35	1,31	1,27	1,24	1,20	1,18	1,15	1,08
	<hr/>								
*Temperatura operativa = ta+tg/2									

2.1.2 Il comfort termico locale

Gli indici di Fanger forniscono un'indicazione dello stato di comfort termico globale percepito dagli individui che occupano un determinato ambiente, ma non tengono conto dei possibili disagi che essi possono avvertire a livello locale a causa delle disuniformità delle variabili ambientali. Le cause di discomfort termico localizzato possono derivare da:

- Gradiente verticale della temperatura dell'aria. Il valore accettabile di questo parametro deve portare ad una differenza massima di 3°C tra il livello delle caviglie (0,1 m dal pavimento) a quello della nuca (1,1 m dal pavimento – per una persona seduta), con un gradiente di 1,9 °C/m. tale gradiente viene normalmente rispettato con soluzioni impiantistiche di climatizzazione tradizionali.
- Asimmetria nella temperatura piana radiante. È il parametro che misura l'esistenza di una differenza nella radiazione percepita e viene definito pari alla differenza di tali temperature sulle due facce di una piccola superficie verticale od orizzontale all'interno di un ambiente.
- Temperatura superficiale del pavimento. Al fine di evitare una sensazione di discomfort, il valore di questo parametro deve essere compreso all'interno dell'intervallo 18-29 °C.
- Disturbo da correnti di aria. Questo fenomeno è avvertito principalmente da persone in attività sedentaria e comporta il raffreddamento localizzato di una parte del corpo. Normalmente le zone più critiche sono le caviglie (0,1 m dalla quota del piano calpestato) e la nuca (1,1 m per le persone sedute e 1,7 m per persone in piedi). Affinché vengano salvaguardate condizioni di comfort accettabile, la PPD riferita alle persone che lamentano tale fenomeno deve essere al massimo pari al 15% (UNI EN ISO 7730).

2.1.3 Il quadro normativo

La norma EN 15251 specifica i parametri per la progettazione e la valutazione degli ambienti indoor: si focalizza sulla qualità dell'aria, sulle condizioni termiche, sulla qualità della luce e acustica.

Il consumo energetico degli edifici dipende in modo significativo dai criteri di progettazione degli ambienti interni (temperatura, ventilazione ed illuminazione), dalla costruzione e dal funzionamento. Recenti studi hanno dimostrato che un ambiente di scarsa qualità implica maggiori costi per il datore di lavoro (nel caso di attività lavorativa), il proprietario dell'edificio e per la società, nel suo complesso. Questi costi sono spesso superiori al costo dell'energia utilizzata nello stesso edificio. Di contro è stato anche dimostrato che la buona qualità ambientale determina un miglioramento delle prestazioni lavorative e di apprendimento e portano ad un decremento del tasso di assenteismo. Inoltre gli occupanti possono intraprendere azioni per migliorare il proprio comfort, che possono avere implicazioni energetiche. Inoltre le azioni degli occupanti che lamentano discomfort possono implicare costi energetici aggiuntivi.

È chiara dunque la necessità di specificare i criteri relativi agli ambienti interni da utilizzare per progettazione calcoli energetici, prestazioni e gestione di edifici.

Per quanto riguarda l'ambiente termico i temi trattati nella revisione della norma sono i seguenti:

- chiara differenziazione tra l'approccio adattativo e il modello PMV-PPD;
- ventilazione personalizzata;
- parametri locali di comfort termico.

In funzione del contesto climatico nel quale l'edificio è inserito sono infatti differenti i range di temperatura operativa che si ottengono applicando l'approccio PMV-PPD oppure quello adattativo.

I parametri di comfort termico localizzato nell'attuale normativa non hanno diretta influenza sui consumi energetici dell'edificio. Nella revisione si propone di modificare questo approccio, in quanto il legame tra parametri di comfort localizzato e i consumi esiste.

Un tema nuovo che non viene trattato nell'attuale normativa è il comportamento delle persone. Attraverso simulazioni dinamiche è stato provato che i comportamenti degli utenti influenzano i consumi.

2.2 Il comfort relativo alla qualità dell'aria

Il concetto di qualità dell'aria interna è ritenuta un importante fattore ambientale da oltre un secolo, ovvero dall'inizio della rivoluzione sull'igiene, avvenuta intorno al 1850, per poi essere approfondita negli studi ambientali e diventare tematica dominante intorno agli anni '60. La qualità dell'aria (Indoor Air Quality – IAQ) svolge un ruolo fondamentale in aspetti relativi a salute pubblica: a questo riguardo

numerosi ed importanti studi sull'influenza dell'esposizione in ambienti indoor sulla salute sono stati condotti principalmente in Nord Europa e in Nord America.

Per quanto riguarda gli ambienti di lavoro, le conseguenze di un ambiente poco salubre possono manifestarsi attraverso un quadro sintomatologico ben definito come la Sick-Building Syndrome (SBS), che non appartiene ad una vera e propria malattia clinica, ma risulta legato ad una serie di disturbi come cefalea, irritazione agli occhi, naso e gola, tosse secca, pelle disidratata, vertigini o nausea, difficoltà di concentrazione, affaticamento, particolare sensibilità agli odori. L'eziologia è ancora sconosciuta, ma i fattori scatenanti sono imputabili agli edifici (materiali da costruzione, arredi, rivestimenti), agli impianti di condizionamento e ventilazione, ai piani di manutenzione, al tipo e all'organizzazione del lavoro oltreché a fattori personali. I sintomi della SBS, così come i suoi effetti, sono modesti ma comportano un significativo calo della produttività e possono rappresentare su larga scala un costo più elevato di alcune gravi malattie. Proprio l'assenza di reperti obiettivi focalizza il problema sull'adeguatezza della qualità dell'aria, intesa come soddisfacimento delle proprie aspettative e raggiungimento di uno stato di benessere. Infatti è difficile poter affermare che vi sia una vera malattia causata dalla permanenza in taluni edifici, mentre è oggettivo che si può avvertire malessere o senso di irritazione. Il giudizio espresso dagli occupanti è quindi l'unico modo per avere informazioni concernenti il comfort o i sintomi della SBS [5, 6].

Le patologie di natura allergica sono in rapido aumento in tutto il mondo e sono fortemente connesse con le esposizioni in ambienti interni: in molte regioni del mondo è colpita circa la metà della popolazione, i giovani maggiormente degli anziani, e in molte regioni l'incidenza è pressoché raddoppiata negli ultimi decenni [7].

La qualità degli ambienti interni è ritenuta accettabile se è percepita come fresca e piacevole, se non ha impatto negativo sulla salute e può aumentare la produttività e/o, ad esempio, l'apprendimento degli studenti nelle scuole. Per migliorare la qualità dell'aria sono possibili diverse azioni:

- Controllo della fonte dell'aria;
- Pulizia dell'aria (tramite assorbimento o fotocatalisi);
- Utilizzo della ventilazione personalizzata [8, 9]

Una fra le maggiori fonti di inquinamento negli uffici è costituita dalle particelle dei filtri di ventilazione [10]. Fonti minori sono i materiali da costruzione e i computer (in particolare gli schermi CRT ovvero con tubo catodico ormai non più utilizzati).

La qualità dell'aria dipende anche da sostanze che penetrano dall'esterno e si accumulano nell'ambiente indoor. L'inquinamento indoor dipende quindi anche dalla qualità dell'aria intorno all'edificio.

Il degrado della qualità dell'aria può essere altresì causato da una erronea gestione, mantenimento o pianificazione o installazione di sistemi di ventilazione e riscaldamento. Ma la presenza di un'aria "viziata" in un ambiente chiuso dipende anche da abitudini sbagliate. All'interno degli edifici la temperatura dovrebbe variare tra i 20 e i 22 °C con un tasso di umidità intorno al 40 - 60%. Non è consigliabile scendere sotto il 20% di umidità perché l'aria diventerebbe troppo secca causando un'elevata evaporazione delle mucose bronchiali e quindi secchezza nelle vie respiratorie. Anche in assenza di fattori di inquinamento esterni, la qualità dell'aria indoor peggiora tanto più velocemente quanto maggiore è la presenza di persone in un ambiente chiuso per un tempo prolungato.

2.2.1 Gli inquinanti negli ambienti interni

L'aria è composta principalmente da gas, quali ossigeno (21 %), azoto (78 %), argon (1 %) e anidride carbonica (0,04 %). La concentrazione delle impurità dell'aria esterna è variabile, ma è generalmente inferiore rispetto a quella dei contaminanti prodotti dall'uomo all'interno degli ambienti interni. I contaminanti che presentano particolari problemi negli ambienti indoor sono il fumo di tabacco, il radon e la formaldeide. I contaminanti aerei possono presentarsi sotto forma di particelle (aerosol o particolato inquinante) o di gas. I contaminanti gassosi si distinguono in non organici e organici: questi ultimi contengono atomi di carbonio e nella maggior parte sono vapori. Gli effetti dannosi, provocati da questi composti sono: tossicità, odori sgradevoli, irritazione e danni materiali (corrosione, decolorazione). La tossicità varia in funzione della concentrazione e del tempo di esposizione. In tabella 2.6 sono riportati le fonti degli inquinanti e le relative cause.

Tabella 2.6. Fonti e considerazioni sugli inquinanti negli ambienti interni

Materiali	La scelta dei materiali influisce sia sull'ambiente esterno che su quello interno. Le fonti degli inquinanti sono: solventi, fibre minerali, terreno (gas radon), pesticidi, arredo interno (pavimentazione, adesivi, tappeti, rivestimenti, vernici, coloranti, pitture).
Costruzione	La progettazione e la realizzazione non accurata degli edifici influiscono sulla qualità degli ambienti interni. I seguenti aspetti devono essere studiati e approfonditi: ermeticità dell'involucro, risparmio energetico e ventilazione.
Occupanti	I contaminanti possono essere introdotti a causa di: attività degli occupanti, umidità, fumo di tabacco, fotocopiatrici, prodotti per la pulizia, introduzione di diossido di carbonio, composti organici, particolato.
Fattori ambientali	Umidità e muffe, gas radon, emissioni di gas e di inquinanti esterni.
Manutenzione e gestione	Contribuiscono a peggiorare l'IAQ la scarsa manutenzione dell'edificio e dei controlli e l'errata gestione degli ambienti.

In tabella 2.7 sono riportati i riferimenti normativi di alcuni paesi che limitano le concentrazioni degli inquinanti negli ambienti non-industriali insieme ai valori suggeriti dalla WHO (World Health Organization). Un confronto tra i diversi valori è difficile perché la durata di campionamento è differente. È da notare che solo due inquinanti sono riportati in tutte le normative: il monossido di carbonio (CO) e la formaldeide (HCHO).

Tabella 2.7. Inquinanti negli ambienti interni: limiti in diverse normative [11]

	WHO World Health Organization	FI Finlandia	LT Lituania	NO Norvegia	PT Portogallo	RO Romania	SL Slovenia
Ammonio [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	-	20	40	-	-	-	50
Asbesto	-	0,1 mg/m ³	0 fb/cm	0,1 fb/cm	-	-	-
CO [mg/m^3]	7 ^{#2}	8	3	10 ^{#5}	12,5	6 ^{#3}	10
CO₂ [ppm]	-	1200	-	1000	1000	-	1670
Formaldeide [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	100	50	10	100 ^{#3}	100	35 ^{#3}	100
NO₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	40	-	40	100 ^{#4}	-	-	-
Ozono [mg/m^3]	0,1 ^{#5}	-	0,03	-	0,2	-	0,1
PM₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	20	50	50	-	150	-	100
Radon [Bq/m³]	-	200 ^{#1}	-	100	400	140 ^{#6}	400
Stirene [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	-	1	2	-	-	-	-

^{#1}media annuale, ^{#2}val massimo giornaliero, ^{#3}val medio su 30 min, ^{#4}media oraria, ^{#5}media su 8h, ^{#6}val massimo di picco,fb-fibre

2.2.2 Il quadro normativo

Di seguito sono descritte le normative per i sistemi impiantistici per la gestione dei parametri indoor (sia per la parte di riscaldamento e raffrescamento che per la ventilazione).

Gli impianti aeraulici concorrono all'ottenimento della desiderata qualità dell'aria nei locali serviti dall'impianto stesso. La ventilazione modifica la qualità dell'aria interna mediante il meccanismo di diluizione con aria esterna e tramite l'impiego di filtri ed altri sistemi di abbattimento e neutralizzazione dei contaminanti. Tipologie e livelli di qualità dell'aria possono essere definiti in accordo con UNI EN 15251 e UNI

EN 13779. Per la classificazione della qualità dell'aria interna nella presente norma si adottano tre classi di qualità, come riportato in tabella 2.8 nella quale è anche indicata la corrispondenza tra tali classi e quelle previste nella norma UNI EN 13779. Si noti che vengono considerate accettabili le categorie da IDA 1 a IDA 3.

Tabella 2.8. Classificazione della qualità dell'aria interna- corrispondenze

Categorie di qualità dell'aria	Rif UNI EN 13779	Rif. UNI EN 15251
Elevata	IDA1	Categoria I
Media	IDA2	Categoria II
Bassa	IDA3	Categoria III
-	IDA4	Categoria IV

La classe IDA 4, così come previsto ai fini di classificazione nella UNI EN 13779, non viene considerata accettabile per il raggiungimento degli scopi previsti dalla presente norma.

Per l'attribuzione della classificazione della qualità dell'aria interna si tiene conto della natura degli inquinanti, della loro concentrazione e degli effetti sulla salute e sul benessere degli occupanti. Le classi di qualità dell'aria sono funzione delle portate di aria esterna e della metodologia di filtrazione adottata. Il metodo prestazionale fa riferimento ad bilancio di massa di singoli contaminati e porta a determinare la portata minima e la filtrazione minima da adottare ai fini del rispetto di una soglia di concentrazione di ciascun contaminante.

La classificazione che prende la concentrazione di CO₂ come marker della qualità dell'aria è utilizzabile nei locali in cui non è consentito fumare e non siano presenti fiamme libere e nei quali l'inquinamento è causato principalmente dalle persone in relazione alla loro attività metabolica.

Tabella 2.9: Valori di concentrazione di CO₂ all'interno dei locali

Categorie di qualità dell'aria	Rif UNI EN 13779	Differenza di concentrazione di CO ₂ tra aria interna ed aria esterna [ppm]
Elevata	IDA1	≤400
Media	IDA2	400 - 600
Bassa	IDA3	601 - 1000
-	IDA4	>1000

2.3 Il comfort illuminotecnico

L'illuminazione svolge un fondamentale ruolo nella qualità dell'ambiente indoor. In particolare per essere considerato ben illuminato, un ambiente deve avere i seguenti requisiti:

- Buona visibilità, per un corretto svolgimento di attività;
- Comfort visivo, cioè soddisfare necessità di carattere fisiologico e psicologico;
- Sicurezza, per agevolare il movimento.

Da un punto di vista fisico, la luce è una radiazione elettromagnetica che varia nel tempo e nello spazio. La luce si definisce in base alla risposta visiva dell'uomo e, per definizione, lo spettro del visibile è compreso tra le lunghezze d'onda che vanno da 380 a 780 nm.

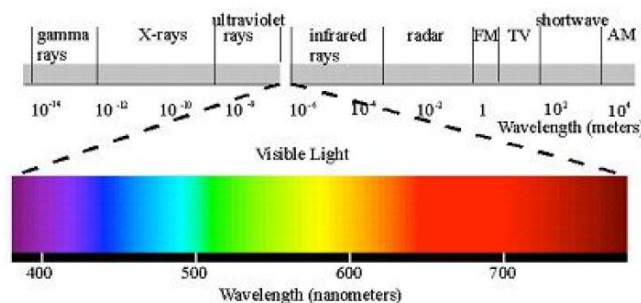


Figura 2.3. Spettro visibile.

L'occhio umano ha una risposta visiva diversa a seconda della lunghezza d'onda della radiazione incidente, per cui è stata introdotta una curva di sensibilità sia per la visione diurna o fotopica, che notturna o scotopica. La fotometria studia la luce ponderando la radiazione luminosa in funzione della curva di sensibilità.

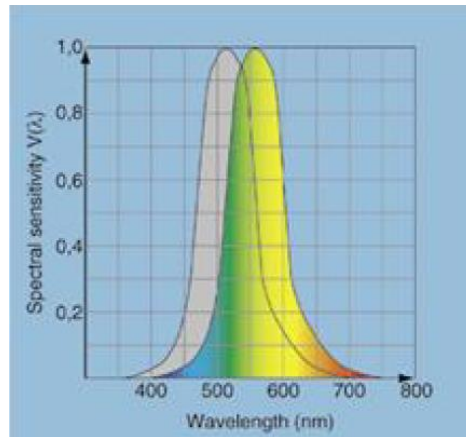


Figura 2.4. Curva di sensibilità dell'occhio umano.

Le principali grandezze fotometriche sono:

- Flusso luminoso: quantità di luce che una sorgente emette nello spazio. Si misura in lumen [lm];
- Intensità luminosa: quantità di luce emessa in una certa direzione. Si misura in candele [cd];
- Illuminamento: misura la quantità di luce che colpisce una superficie. Si misura in lux [lm/m²];
- Luminanza: quantità di luce che, partendo da una sorgente o da una superficie, colpisce l'occhio dell'osservatore. Si misura in [cd/m²].

Non c'è e non può esistere una definizione chiara di cosa si intende per illuminazione di qualità, tuttavia si potrebbe affermare che si raggiunge la qualità quando un progetto illuminotecnico incontra e risponde sia agli obiettivi che alle necessità del cliente e del progettista. Gli obiettivi potrebbero essere, ad esempio, aumentare la performance nell'espletamento di un compito, creare particolari effetti visivi, assicurare il comfort visivo, mentre le necessità potrebbero essere rispettare il budget economico, i tempi di realizzazione del progetto e le restrizioni imposte dalle normative.

I parametri che caratterizzano l'ambiente luminoso sono :

- Distribuzione delle luminanze;
- Illuminamento (\bar{E}_m) e uniformità di illuminamento (E_{min}/E_{medio});
- Abbagliamento;
- Direzione della luce;
- Resa dei colori e temperatura di colore della sorgente;
- Sfarfallamento ed effetti stroboscopici;
- Disponibilità di luce diurna, che, vista la sua continua variabilità in termini di intensità e di temperatura di colore contribuisce alla dinamicità degli spazi.

In generale, una buona qualità della luce deriva da tre aspetti:

- Prestazione visiva: indica la velocità e l'accuratezza del sistema visivo nell'espletamento di un compito (velocità di percezione, acuità visiva, sensibilità al contrasto). È influenzata dal livello di illuminamento e della possibile presenza di abbagliamento.
- Comfort visivo: non è misurabile quantitativamente, ma è legato alle condizioni psicofisiche delle persone. È influenzato dalla resa dei colori e dall'equilibrio nella distribuzione delle luminanze.
- Ambiente visivo: esprime la sensazione generale che si può percepire a livello di illuminazione all'interno di un locale. È influenzato dal colore della luce, dalla direzione della luce e dall'effetto di modellato (corretto rapporto tra illuminazione diretta e diffusa).

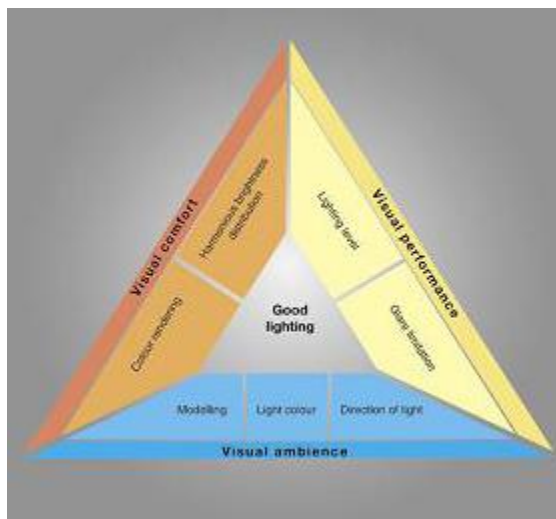


Figura 2.5. Parametri che influenzano la qualità della luce.

Molti studi hanno dimostrato come la luce naturale influisca positivamente sulle persone, dal momento che incrementa il benessere visivo, fisiologico e psicologico; pertanto è importante studiare attentamente, in fase di progettazione, una configurazione dell'edificio tale da permettere una penetrazione ottimale della luce. D'altro canto, il controllo della luce diurna è fondamentale, specialmente in ambito lavorativo, dove il rapporto verso l'esterno si è visto essere strettamente collegato alla performance e al comfort dell'utente. Il controllo dell'illuminamento naturale è uno dei requisiti che concorrono al benessere dell'organismo in relazione dinamica col contesto ambientale. L'illuminazione naturale deve essere utilizzata nella maggiore misura possibile anche al fine ridurre il consumo energetico. I requisiti delle superfici sono principalmente tre: vedere l'ambiente esterno, realizzare una buona distribuzione delle luminanze e consentire la ventilazione naturale. Esistono alcuni parametri di riferimento che facilitano il progettista nel controllo della corretta illuminazione naturale negli ambienti; questi sono riassunti in figura 2.6.



Figura 2.6. Parametri coinvolti nella progettazione illuminotecnica [12]

2.3.1 Il quadro normativo

Di seguito sono riportati i riferimenti normativi per la progettazione e la verifica degli edifici. Per alcune tipologie, come ad esempio le scuole e le strutture ospedaliere, vi sono norme specifiche.

- Circ. Min. LL. PP. 3151 del 22/5/67: criteri di valutazione delle grandezze atte a rappresentare le proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione nelle costruzioni edilizie.
- Circ. Min. LL. PP. 13011 del 22/11/74: requisiti fisico tecnici per le costruzioni edilizie ospedaliere: proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione.

- D.M. 5 luglio 1975 D.M. 5 luglio 1975: modifiche alle istruzioni ministeriali 20/6/96 relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico sanitari principali dei locali di abitazione;
- D.M. 18 dicembre 1975 D.M. 18 dicembre 1975: norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia e urbanistica da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica;
- UNI 10840 UNI 10840: luce e illuminazione - locali scolastici: criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale).

3 Modalità e strumenti di misura per l'analisi della qualità degli ambienti interni

Sul mercato sono disponibili vari tipi di strumenti di misura, adatti per il monitoraggio a breve, medio e lungo termine. Sono caratterizzate da variabili livelli di prestazione, prezzi, dimensioni, tipo di trasmissione dati, ecc. Un esempio sono le centraline microclimatiche, i datalogger e le strumentazioni che misurano singoli parametri (termometri, anemometri, igrometri ecc.). Di seguito sono riportati i parametri indoor da misurare e la relativa strumentazione (Tabella 13).

La normativa di riferimento per la strumentazione dei parametri indoor è la UNI EN 7726, che riporta quali caratteristiche devono avere gli strumenti di misura.

3.1 Strumenti per la misura dei parametri di comfort

Per la valutazione e il monitoraggio del comfort ambientale degli ambienti oggetto del presente studio, sono state utilizzate cinque centraline microclimatiche di nuova acquisizione e tre sensori igrometrici per interno acquisiti nella precedente annualità.

Le centraline microclimatiche sono prodotte dalla ditta Tecno El. Caratterizzano ogni apparecchio le seguenti componenti principali:

- Un sistema di acquisizione dati **GRILLO MMTS** (vedi tabella 3.1), che si avvale della tecnologia Wifi, GPS o GPRS per la trasmissione dei dati sulla piattaforma WEB OLINDA. In questo modo l'utente può visualizzare da remoto e in tempo reale il processo evolutivo delle grandezze misurate. Questo sistema è in grado di accettare in ingresso il segnale elettrico dei trasduttori più comunemente utilizzati; tale caratteristica, unita all'alimentazione autonoma a batteria, a pannello solare o a rete elettrica locale, ne fanno un'unità di rapida installazione ed immediato impiego.
- Un sensore termoigrometrico (vedi tabella 3.2), posto all'interno di uno schermo antiradiazione solare, che rileva la temperatura e l'umidità relativa dell'aria.
- Un sensore globotermometrico (vedi tabella 3.3), che rileva la misura della temperatura media radiante.
- Un sensore anemometrico (vedi tabella 3.4), che rileva la velocità e la direzione dell'aria.
- Un sensore di CO₂ (vedi tabella 3.5) che rileva la concentrazione di anidride carbonica nell'ambiente.
- I connettori, denominati **A, B, C, D, Power e RS232** (vedi tabella 3.6), posti sulla parte inferiore dell'unità Grillo, permettono il collegamento dei sensori all'acquisitore dati.

Tabella 3.1. Caratteristiche unità Grillo MMTS


	
Canali d'ingresso	6: velocità dell'aria, direzione dell'aria, temperatura aria, umidità relativa aria, temperatura media radiante, concentrazione CO2 in aria
Alimentazione sensori esterni	12 Vcc @ 30 mA per ciascun sensore
Campo di misura	da 0/ a 2500 mV
Convertitore A/D	a 16 bit
Risoluzione mV	+/- 0,04 mV per il campo di misura 0/2500
Orologio interno	Real Time Clock con anno, mese, giorno, ore, minuti, secondi
Intervallo di campionamento	programmabile tra 2 secondi e 12 ore
Intervallo di elaborazione	programmabile tra 2 secondi e 24 ore
Algoritmi di elaborazione	media, massimo, minimo
Memoria	256 Kbyte Flash Eprom
Scaricamento dati	in remoto via rete GPRS/3G , in locale via Wi-Fi o Ethernet
Programmazione unità	Locale o remota.
Allarmi	2 soglie di allarme, per ciascun canale analogico, programmabili
Segnalazione allarmi	invio di E-Mail e/o SMS
Interfaccia locale	standard RS 232 o 485
Modulo di comunicazione	Wi-Fi Standard omologato
Collegamento trasduttori	connettori miniatura
Dimensioni	22 x 18 x 12 cm (l x h x p)
Temperatura di impiego	da -10° a + 50°C.

Tabella 3.2. Caratteristiche sonda termoigrometrica.


Caratteristiche sonda termoigrometrica	
	
Alimentazione	3,5-5 Vcc @ 4 mA typ
Dimensioni	cilindro Dia. 15 mm, L 100 mm.(di cui 30 mm per filtro protezione)
Standard	CE – conforme a 2007/108/EG
Temperatura dell'aria	
Sensore	Termoresistenza Pt100, 1/3 classe B
Campo di misura	da -40°C a + 60°C
Precisione	+ / - 0.1 K
Uscita	0 mV - 1000 mVcc
Ripetibilità	+ / - 0,1°C.
Umidità relativa	
Sensore	condensatore a film sottile con dielettrico in materiale polimerico
Campo di misura	0 - 100% UR.
Precisione	+ / - 0,8 % UR (10...80% UR)
Uscita	0- 1000 mV cc
Ripetibilità	+ / - 0,1°C.
Stabilità a lungo termine	< 1% UR e 0,1K /anno
Ripetibilità	migliore dello 0,5% UR.

Tabella 3.3. Caratteristiche sonda globotermometrica


Caratteristiche Globotermometro	
	
Globo	in rame verniciato nero opaco , diametro 150 mm
Gambo di supporto	diametro 14 mm e lunghezza 110 mm
Trasduttore interno	Termoresistenza Pt100, cavo lunghezza 2 m, 4 fili
Alimentazione	da sistema Grillo via alimentatore 230 Vca o batteria

Tabella 3.4. Caratteristiche Sonda anemometrica sonica


	
Campo di misura velocità	0 – 30 m/s
Risoluzione	1 cm/s
Precisione	+/- 2 % del campo di misura
Campo di misura direzione	0-359 °
Risoluzione	1 °
Precisione	+/- 3 °
Uscita	RS 485
Alimentazione	da sistema Grillo

Tabella 3.5. Caratteristiche sensore CO2



	
Sensore	tubo a permeazione con rilevatore all'infrarosso
Campo di misura	0-2000 ppm
Precisione	+/- 1 % del campo di misura
Uscita	RS 485 per collegamento a sistema di acquisizione Grillo
Dimensioni	cilindro 20 dia x 150 L mm ca
Alimentazione	da sistema Grillo via alimentatore 230 Vca o batteria

Tabella 3.6. Caratteristiche connettori

	
Connettore A	dedicato al sensore termoigrometrico
Connettore B	dedicato al sensore globotermometrico
Connettore C	dedicato al sensore anemometrico
Connettore D	dedicato al sensore di CO ₂
Connettore Power	dedicato all'ingresso dell'alimentazione esterna
Connettore RS232	per il colloquio con il software del sistema.

La centralina, nel suo complesso si presenta come in figura 3.1:



Figura 3.1. Centralina microclimatica

Oltre alle centraline Grillo, si è potuto disporre anche del sistema di monitoraggio acquistato nella precedente annualità, prodotto dalla Gemini Datalogger, distributore dei prodotti Tinytag, considerati affidabili e ottimali per applicazioni relative alla diagnosi ambientale degli edifici. Il sistema è costituito da più unità indipendenti (stand-alone), che garantiscono la massima flessibilità di utilizzo e la possibilità di espansione della rete di monitoraggio. Ciascuna unità, dotata di uno o più sensori, è provvista di un sistema di acquisizione e registrazione dei dati. I dati memorizzati sullo strumento possono poi essere trasferiti via cavo su una unità centrale (un Personal Computer) previa installazione del software in dotazione con lo strumento. Il software consente di avviare e arrestare lo strumento, gestire le soglie di allarme e visualizzare e elaborare i dati.

I sensori sono caratterizzati da una elevata accuratezza e risoluzione di misura e una grossa capacità di immagazzinamento dati (variabile da 16000 a 32000 letture con tempi di campionamento da 1 sec a 10 giorni, possibilità di lettura per periodi sino a 45 giorni).

In particolare i componenti utilizzati per misure dei parametri igrometrici interni sono del tipo **TGU 4500 Tinytag Ultra** e hanno le seguenti caratteristiche:

- datalogger con sensori di temperatura e umidità integrati (-25 to +85°C/0 to 95% RH) per interni (IP53) caratterizzati da bassi gradi di umidità;
- sensore di temperatura montato internamente di tipo 10K NTC Thermistor con risoluzione di lettura di 0,01°C o superiore;
- sensore di umidità montato esternamente di tipo capacitivo con accuratezza di $\pm 3,0\%$ RH a 25°C e risoluzione di lettura maggiore di 0,3% RH.



Figura 3.2. TGU 4500 Tinytag Ultra 2 per misure in ambienti interni

3.2 Strumenti per la misura dei parametri termoigrometrici esterni

Anche lo strumento per le misure termoigrometriche in esterno è stato acquisito nella precedente annualità dalla Gemini Datalogger. L'unità è dotata di due sensori (temperatura e umidità relativa) e provvista di un sistema di acquisizione e registrazione dei dati. I dati memorizzati sullo strumento possono poi essere trasferiti via cavo su una unità centrale (un Personal computer) previa installazione del software in dotazione con lo strumento. Il software consente di avviare e arrestare lo strumento, di gestire le soglie di allarme e visualizzare e manipolare i dati.

Il sensore è caratterizzato da una elevata accuratezza e risoluzione di misura e una grossa capacità di immagazzinamento dati (variabile da 16000 a 32000 letture con tempi di campionamento da 1 sec a 10 giorni, possibilità di lettura per periodi sino a 45 giorni).

In particolare il componente utilizzato per le misure di temperatura e umidità in esterno è un **TGP-4500 Tinytag Plus 2 (1 unità)** ed ha le seguenti caratteristiche:

- datalogger con sensori di temperatura e umidità integrati (intervalli di misurazione -25 to +85°C/0 to 100% RH) per esterno (IP68) anche per elevati gradi di umidità;
- sensore di temperatura montato internamente di tipo 10K NTC Thermistor con risoluzione di lettura di 0,01°C o superiore;
- sensore di umidità montato esternamente di tipo capacitivo con accuratezza di $\pm 3,0\%$ RH a 25°C e risoluzione di lettura maggiore di 0,3% RH.

3.3 Strumenti per la misura dei parametri illuminotecnici


Il luxmetro è lo strumento che permette di misurare il valore dell'illuminamento sia con luce naturale che con luce artificiale. La normativa di riferimento è la UNI 11142:2004. È composto da una parte fissa (corpo strumento) e una mobile che contiene il sensore vero e proprio costituito da un trasduttore (cella fotovoltaica o altre celle fotoelettriche) che sotto l'effetto dell'energia luminosa reagisce provocando una corrente elettrica (effetto fotoelettrico) che viene rilevata da un galvanometro la cui scala è tarata in lux. Tale strumento viene utilizzato per la verifica dei livelli di illuminamento degli ambienti e sui luoghi di lavoro.

Per l'esecuzione delle misure di intensità di illuminazione negli ambienti interni è stato utilizzato il luxmetro della ditta Testo (Modello 545). Di seguito, nella tabella 3.7, è riportata una scheda tecnica riassuntiva dello strumento.



Figura 3.3. TGU 4500 Tinytag Plus 2 per misure di temperatura e umidità all'esterno

Tabella 3.7. Caratteristiche luxmetro

Caratteristiche luxmetro	
	
Dati tecnici (Light)	
Sensore	Fotodiodo al silicene
Campo di misura	0 to 100000 lux
Precisione	Precisione secondo DIN 13032-1: F1 = 6 % regolazione V (Lambda) F2 = 5 % cos come riferimento
Risoluzione	1 lux (0 to 32000 lux) 10 lux (0 to 100000 lux)
Dati tecnici (generali)	
Dimensioni	220 x 68 x 50 mm
Temperatura di lavoro	0 to +50 °C
Memoria	3.000 valori di misura

4 Analisi di edifici

Nei capitoli successivi 5 e 6 vengono presentati alcuni casi studio affrontati durante questa annualità sulla base dei concetti e delle tecniche descritti nei precedenti capitoli.

Per analizzare le tematiche del comfort termico, illuminotecnico, della gestione e salubrità (salute e benessere degli occupanti) e le loro reciproche connessioni negli edifici residenziali è stata analizzata la qualità degli ambienti interni in edifici non residenziali.

In particolare sono stati approfonditi i temi del benessere indoor, qualità dell'aria, salubrità, in due edifici pubblici ad uso scolastico e in un edificio pubblico ad uso uffici.

5 Analisi di edifici pubblici ad uso scolastico

La qualità degli ambienti in cui si vive sta cambiando e stanno aumentando le conoscenze sui potenziali rischi che da questo cambiamento possono derivare per la salute dei bambini. In particolare la gestione della qualità dell'ambiente indoor scolastico merita attenzione, perché molti sono i settori responsabili (mobilità urbana, politiche energetiche, prodotti di costruzione e consumo, gestione e manutenzione, sistemi di prevenzione e monitoraggio etc.) e perché gli impatti sulla salute respiratoria dei bambini hanno effetti socio-sanitari rilevanti.

L'ambiente scolastico può ospitare molte fonti di sostanze tossiche e allergeni, di cui i bambini non sono consapevoli. I bambini sono, inoltre, fisiologicamente molto più vulnerabili degli adulti: il loro sistema immunitario è immaturo e la loro respirazione è veloce. I problemi respiratori e allergici, ovvero le malattie più diffuse tra i bambini, sono tra gli effetti clinici più comuni associati all'esposizione ai fattori presenti in aria indoor. Le assenze scolastiche sono principalmente dovute a malattie delle prime vie respiratorie, asma e allergie.

I bambini spendono la maggior parte del loro tempo in un ambiente piuttosto particolare per quanto concerne la gestione della qualità dell'aria indoor: la scuola e la classe. I bambini sono esposti a multipli fattori di rischio ambientale di natura fisica, chimica e biologica in ambienti comuni e affollati.

Durante il giorno una popolazione eterogenea (insegnanti, personale scolastico, alunni) e gruppi vulnerabili (per esempio soggetti allergici e asmatici) trascorrono molto tempo insieme in spazi più piccoli rispetto a un normale ufficio in termini di densità abitativa per superficie.

Varie sono le sostanze potenzialmente tossiche e allergizzanti in ambiente scolastico, tra queste possiamo elencare alcune fonti indoor come materiali didattici, da costruzione e di arredo, detergenti chimici, nonché muffe e pollini presenti negli spazi esterni dove i bambini giocano e spendono il loro tempo libero. Una inadeguata gestione degli ambienti interni ed esterni alla scuola è di per sé un ulteriore fattore di rischio: un esempio sono i tempi e modalità delle pulizie e dei ricambi d'aria di aule, palestre, servizi igienici, biblioteche, laboratori didattici. Un altro elemento da non sottovalutare è l'interazione indoor-outdoor, ovvero l'influenza dell'inquinamento esterno sull'ambiente confinato.

I fattori ambientali dipendono anche dalle caratteristiche strutturali della scuola e dai materiali usati nella progettazione e nelle ristrutturazioni. Il degrado della qualità dell'aria può essere altresì causato da una erronea gestione, mantenimento o pianificazione o installazione di sistemi di ventilazione e riscaldamento. Ma la presenza di un'aria "viziata" in un ambiente chiuso dipende anche da abitudini sbagliate. All'interno degli edifici la temperatura dovrebbe variare tra i 20 e i 22 °C con un tasso di umidità intorno al 40 - 60%. Non è consigliabile scendere sotto il 20% di umidità perché l'aria diventerebbe troppo secca causando un'elevata evaporazione delle mucose bronchiali e quindi secchezza nelle vie respiratorie.

Anche in assenza di fattori di inquinamento esterni, la qualità dell'aria indoor peggiora tanto più velocemente quanto maggiore è la presenza di persone in un ambiente chiuso per un tempo prolungato.

La frequenza con la quale l'aria viene ricambiata o con cui l'intero volume d'aria in una stanza viene sostituito è un fattore fondamentale che influenza la qualità dell'aria interna.

Sulla base delle considerazioni finora esposte, è stato condotto uno studio sulla qualità del benessere interno degli ambienti di alcuni edifici pubblici ad uso scolastico, nel Sulcis Iglesiente. In particolare è stata eseguita una analisi della situazione dei vari locali, aule e atri, relativamente al benessere ambientale mediante un monitoraggio dei parametri caratteristici di comfort nei seguenti edifici scolastici, siti nel comune di Carbonia:

1. Scuola primaria "Is Gannaus";
2. Scuola primaria "Is Meis".

Un'indagine preliminare dei parametri microclimatici è stata effettuata, all'interno di questi edifici, a cavallo tra Marzo e Aprile. Durante questo sopralluogo sono state monitorate con sensori Tinytag, le variabili:

- temperatura interna ed esterna;
- umidità relativa interna ed esterna;

- concentrazione di CO₂ nell'ambiente.

Le misurazioni sono avvenute in continuo per 24 ore, sia in assenza che in presenza di alunni e personale docente, valutando, in tal modo, l'influenza degli occupanti.

Nel mese di Maggio sono state monitorate in continuo utilizzando le centraline microclimatiche Grillo-MMTS le variabili:

- temperatura interna;
- umidità relativa;
- temperatura media radiante;
- concentrazione CO₂;
- velocità e direzione dell'aria.

Tali dati sono stati utilizzati per il calcolo dell'indice di benessere termico PMV e del relativo PPD. Per il calcolo del PMV, considerando il periodo di monitoraggio, sono stati assunti i dati relativi a:

- abbigliamento leggero con resistenza termica abbigliamento, secondo la UNI9920, pari a 0,7 clo;
- attività scolastica assimilata a quella di un ufficio con dispendio energetico, secondo la UNI EN ISO 8996:2005, pari a 1,2 met.

5.1 Scuola primaria “Is Gannaus”

La scuola primaria di Is Gannaus è un edificio di recente costruzione, ubicato all’estrema periferia sud della città di Carbonia. La scuola, disposta su un unico piano, è composta da cinque aule. Nel vasto androne centrale, provvisto di spalti, si svolgono sia le attività motorie sia quelle teatrali. Sono inoltre presenti altri due locali: l’aula d’informatica (dotata di numerose postazioni multimediali) e un ampio locale indipendente che è adibito a sala mensa per gli alunni.



Figura 5.1. Scuola primaria Is Gannaus: prospetto principale.

La scuola ospita circa 60 alunni ripartiti nelle 5 classi come riportato in tabella 5.1, ed è frequentata dalle ore 8:30 alle ore 16:30 dal lunedì al venerdì.

Tabella 5.1. Scuola Is Gannaus: ripartizione degli alunni per classe (aa 2015-2016)

Numero alunni per classe (anno 2015-2016)	
Classe I [^] (aula 2)	9
Classe II [^] (aula 3)	12
Classe III [^] (aula 4)	9
Classe IV [^] (aula 5)	17
Classe V [^] (aula 1)	13
Totale	60

Nelle tabelle 5.2-3 seguenti si riportano i dati relativi alle campagne di monitoraggio con gli ambienti che sono stati oggetto d’indagine, i parametri misurati e le strumentazioni impiegate, rispettivamente nel mese di Marzo e nel mese di Maggio.

Tabella 5.2. Campagna di monitoraggio marzo 2016 edificio scolastico Is Gannaus

<i>Marzo 2016- Is Gannaus</i>			
Ambienti	Parametri monitorati	Strumentazione	Periodo monitoraggio
<i>Aula 2</i>	<i>Indoor: Temperatura interna (Ti), Umidità relativa interna (u.r.i), Concentrazione di CO₂(Cco₂); Outdoor: Temperatura esterna (Te) Umidità relativa esterna (u.r.e).</i>	<i>Indoor: - Tinytag ULTRA 2 - Tinytag CO₂- Logger Outdoor: TGP-4500 Tinytag Plus</i>	INIZIO <i>15/03/16 h. 00:00</i>
			FINE <i>17/03/16 h. 11:30</i>
<i>Aula 4</i>	<i>Indoor: Temperatura interna (Ti), Umidità relativa interna (u.r.i), Concentrazione di CO₂(Cco₂); Outdoor: Temperatura esterna (Te) Umidità relativa</i>	<i>Indoor: - Tinytag ULTRA 2 - Tinytag CO₂- Logger Outdoor: TGP-4500 Tinytag Plus</i>	INIZIO <i>17/03/16 h. 12:00</i>
			FINE <i>22/03/16 h. 12:00</i>
<i>Androne</i>	<i>Indoor: Temperatura interna (Ti), Umidità relativa interna (u.r.i); Outdoor: Temperatura esterna (Te) Umidità relativa</i>	<i>Indoor: - Tinytag ULTRA 2 Outdoor: TGP-4500 Tinytag Plus</i>	INIZIO <i>15/03/16 h. 00:00</i>
			FINE <i>17/03/16 h. 11:30</i>
<i>Mensa</i>	<i>Indoor: Temperatura interna (Ti), Umidità relativa interna (u.r.i); Outdoor: Temperatura esterna (Te) Umidità relativa</i>	<i>Indoor: - Tinytag ULTRA 2 Outdoor: TGP-4500 Tinytag Plus</i>	INIZIO <i>18/03/16 h. 12:00</i>
			FINE <i>22/03/16 h. 11:30</i>

Tabella 5.3. Campagna di monitoraggio maggio 2016 edificio scolastico Is Gannaus

<i>Maggio 2016- Is Gannaus</i>			
Ambienti	Parametri monitorati	Strumentazione	Durata monitoraggio
<i>Aula 1</i>	Temperatura interna (Ti), Umidità relativa interna (u.r.i), Concentrazione di CO ₂ interna(Cco ₂); Temperatura radiante (Tr); Velocità e direzione delle correnti d'aria interne (va)	<i>Centralina n.3 Grillo- MMTS</i>	INIZIO 18/05/16 h. 12:00
			FINE 23/05/16 h. 12:00
<i>Aula 2</i>	Temperatura interna (Ti), Umidità relativa interna (u.r.i), Concentrazione di CO ₂ interna(Cco ₂); Temperatura radiante (Tr); Velocità e direzione delle correnti d'aria interne (va)	<i>Centralina n.3 Grillo- MMTS</i>	INIZIO 11/05/16 h. 12:05
			FINE 18/05/16 h. 12:00
<i>Aula 4</i>	Temperatura interna (Ti), Umidità relativa interna (u.r.i), Concentrazione di CO ₂ interna(Cco ₂); Temperatura radiante (Tr); Velocità e direzione delle correnti d'aria interne (va)	<i>Centralina n.1 Grillo- MMTS</i>	INIZIO 11/05/16 h. 12:00
			FINE 18/05/16 h. 11:40
<i>Androne</i>	Temperatura interna (Ti), Umidità relativa interna (u.r.i), Concentrazione di CO ₂ interna(Cco ₂); Temperatura radiante (Tr); Velocità e direzione delle correnti d'aria interne (va) esterna (Te) Umidità relativa	<i>Centralina n.1 Grillo- MMTS</i>	INIZIO 18/05/16 h. 12:00
			FINE 23/05/16 h. 12:00

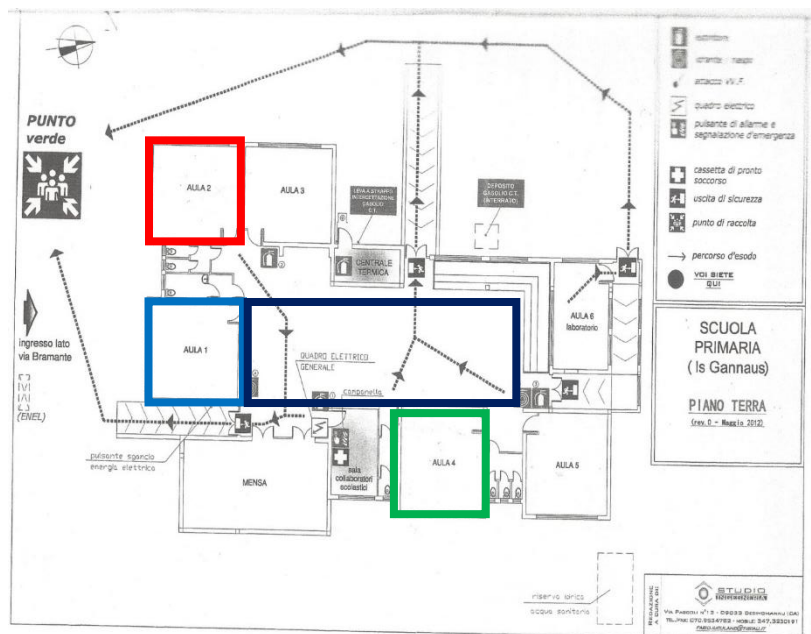


Figura 5.2. Planimetria edificio scolastico Is Gannaus: aule oggetto del monitoraggio di maggio 2016.

Le immagini di seguito riportate (figura 5.3) sono relative ad alcuni degli spazi in cui è stato eseguito il monitoraggio.



Figura 5.3. Alcuni degli ambienti oggetto di monitoraggio.

In tabella 5.4 seguente sono riportati i dati caratteristici della scuola, mentre nelle tabelle 5.5-8 successive, per ciascun locale monitorato sono riportate le informazioni relative a:

- Dati geometrici;
- Dati geometrici finestre e porte;
- Dati caratteristici luci artificiali;
- Schema semplificato sulla ubicazione dei banchi, delle luci e delle finestre;
- Misurazioni intensità luminosa per postazione.

Tabella 5.4. Is Gannaus: caratteristiche dell'edificio in analisi.

Dati Identificativi	
Tipo di scuola	Primaria
Denominazione	Is Gannaus
Indirizzo	Via Bramante, 09010
Codice meccanografico	CAEE87104X
Codice principale istituto	CAIC87100P
Anno di costruzione	1981 - 1991
Destinazione d'uso attuale	Scuola, uffici
Proprietà	Comune di Carbonia
N. tot. alunni	60
Zona Climatica	C
Gradi giorno	922
Dati generali	
Superficie Complessiva [m ²]	625
N. piani	1
Altezza d'interpiano [m]	3
N. vano scala e tipologia	Assente
Stato di conservazione dell'edificio	Sufficiente
Copertura edificio	Piana
Struttura edificio	Misto cemento armato e muratura
Infissi e finestre	
Telaio infissi	Alluminio
Schermature	Avvolgibili in PVC
Tipo di vetro	Semplice
Settore elettrico	
Tipologia lampade	Fluorescenza
Potenza complessiva	Non nota
Consumo medio annuo 2012-2014 [kWh]	16.666
Spesa media annua 2012-2014 [€]	4.476,75
Settore termico	
Caldaia	Belelli
Rendimento di combustione [%]	Oltre 15 anni
Combustibile	Gasolio
Potenza della caldaia [kWt]	79
Consumo medio annuo 2012-2014 [l]	2.500
Spesa media annua 2012-2014 [€]	4.146,04

Aula 1

Tabella 5.5. Ambiente monitorato: Aula 1: dati caratteristici.

Aula 1	
Numero alunni	13
Dati geometrici	
Altezza	2,998 m
Larghezza	6,565 m
Lunghezza	6,971 m
Area	45,76 m ²
Volume	137,2 m ³
Finestre e porte	
Numero finestre	2
Dimensioni finestre	(H) 1,626 m x (L) 2,47 m
Telaio infissi	Alluminio
Schermature	Avvolgibili in PVC e tende interne
Tipo di vetro	Semplice con pellicola schermante
Porta d'ingresso	(H) 2,127m x (L) 1,11 m
Lampade	
Tipologia	Fluorescenza
Numero	6 a 2 corpi a fluorescenza
Potenza punto luce	2 x36 W

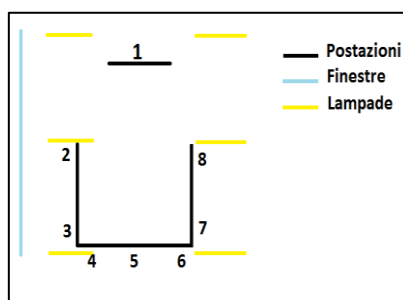


Figura 5.4. Aula 1: schema semplificato.

Tabella 5.6. Ambiente monitorato: Aula 1. Dati misurazioni illuminamento
Illuminamento(Lux) Aula 1

Postazione	Luce artificiale		Contributo	Distanza dal punto di misura al corpo luce
	ON	OFF		
1 Cattedra	621	305	316	2,3
2	1318	842	476	2,27
3	1280	803	477	2,27
4	976	524	452	2,27
5	676	342	334	2,27
6	676	219	457	2,27
7	754	236	518	2,27
8	837	260	577	2,27

Aula 2

Tabella 5.7. Ambiente monitorato: Aula 2: dati caratteristici.

Aula 2	
Numero alunni	10
Dati geometrici	
Altezza	3,018 m
Larghezza	6,960 m
Lunghezza	6,495 m
Area	45,20 m ²
Volume	136,41 m ³
Finestre e porte	
Numero finestre	2
Dimensioni finestre	(H) 1,626 m x (L) 2,453 m
Telaio infissi	Alluminio
Schermature	Avvolgibili in PVC
Tipo di vetro	Semplice
Porta d'ingresso	(H) 2,121 m x (L) 1,166 m
Lampade	
Tipologia	Fluorescenza
Numero	6 a 2 corpi a fluorescenza
Potenza punto luce	2 x36 W

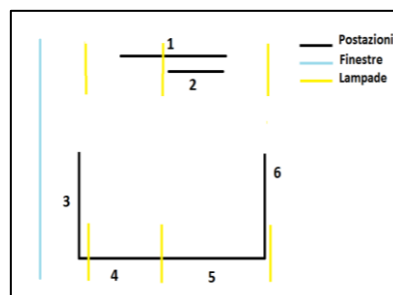


Figura 5.5. Aula 2: schema semplificato.

Tabella 5.8. Ambiente monitorato: Aula 2. Dati misurazioni illuminamento

Illuminamento (Lux) Aula 2				
Postazione	Luce artificiale		Contributo	Distanza dal punto di misura al corpo luce
	ON	OFF		
1 Cattedra	825	240	585	2,205
2 Fronte cattedra	1087	430	657	2,342
3	1723	715	1008	2,342
4	1230	695	535	2,342
5	707	236	471	2,342
6	625	143	482	2,342

Aula 4

Tabella 5.9. Ambiente monitorato: Aula 4: dati caratteristici.

Aula 4	
Numero alunni	9
Dati geometrici	
Altezza	2,987 m
Larghezza	6,990 m
Lunghezza	6,5 m
Area	45,43 m ²
Volume	135,7 m ³
Finestre e porte	
Numero finestre	2
Dimensioni finestre	(H) 1,573 m x (L) 2,472 m
Telaio infissi	Alluminio
Schermature	Avvolgibili in PVC e tende interne
Tipo di vetro	Semplice
Porta d'ingresso	(H) 2,121m x (L) 1,166 m
Lampade	
Tipologia	Fluorescenza
Numero	6 a 2 corpi a fluorescenza
Potenza punto luce	2x36 W

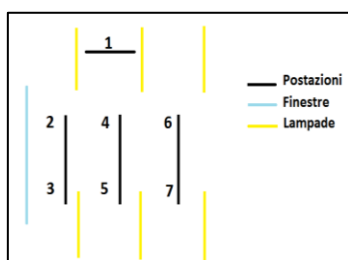


Figura 5.6. Aula 4: schema semplificato.

Tabella 5.10. Ambiente monitorato: Aula 4. Dati misurazioni illuminamento

Illuminamento (Lux) Aula 4				
Postazione	Luce artificiale		Contributo	Distanza dal punto di misura al corpo luce
	ON	OFF		
1 Cattedra	902	680	222	2,116
2	747	331	416	2,257
3	1409	952	457	2,257
4	1142	1092	50	2,257
5	684	229	455	2,257
6	664	232	432	2,257
7	515	151	364	2,257

Androne

Tabella 5.11. Ambiente monitorato: Androne: dati caratteristici.

Androne	
Dati geometrici	
Altezza	4,614 m
Larghezza	8,027 m
Lunghezza	24 m
Area	192,65 m ²
Volume	888,88 m ³
Finestre e porte	
Numero finestre	2
Dimensioni finestra 1	(H) 1,69 m x (L) 3,80 m
Dimensioni finestra 2	[(H _{MIN}) 2,73 ; (H _{MAX}) 3,418] m x (L) 2,990 m
Telaio infissi	Alluminio
Schermature	Avvolgibili in PVC
Tipo di vetro	Semplice
Porta esterna	(H) 2,60 m x (L) 1,98 m
Lampade	
Tipologia	Fluorescenza
Numero	18 a 2 corpi a fluorescenza
Potenza luce	2x36 W

Locale mensa

Tabella 5.12. Ambiente monitorato: locale mensa: dati caratteristici.

Locale mensa	
Dati geometrici	
Altezza	2,977 m
Larghezza	4,577 m
Lunghezza	11,67 m
Area	53,41 m ²
Volume	159 m ³
Finestre e porte	
Numero finestre	4
Dimensioni finestra 1	(H) 1,527 m x (L) 1,507 m
Telaio infissi	Alluminio
Schermature	Avvolgibili in PVC
Tipo di vetro	Semplice
Porta d'ingresso	(H) 2,634 m x (L) 4,975 m
Lampade	
Tipologia	Fluorescenza
Quantità	6 a 2 corpi a fluorescenza

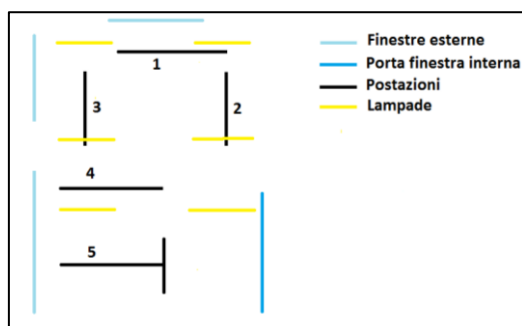


Figura 5.7. Locale mensa: schema semplificato.

Tabella 5.6. Ambiente monitorato: Locale mensa. Dati misurazioni illuminamento.

Illuminamento (Lux) Mensa				
Postazione	Luce artificiale		Contributo	Distanza dal punto di misura al corpo luce
	ON	OFF		
1	4130	3540	590	2,311
2	750	600	150	2,311
3	2140	1885	255	2,311
4	1600	1409	191	2,311
5	1258	1070	188	2,311

Nelle seguenti immagini (figura 5.8-11) sono riportati gli andamenti delle variabili indoor monitorate nel mese di marzo e aprile.

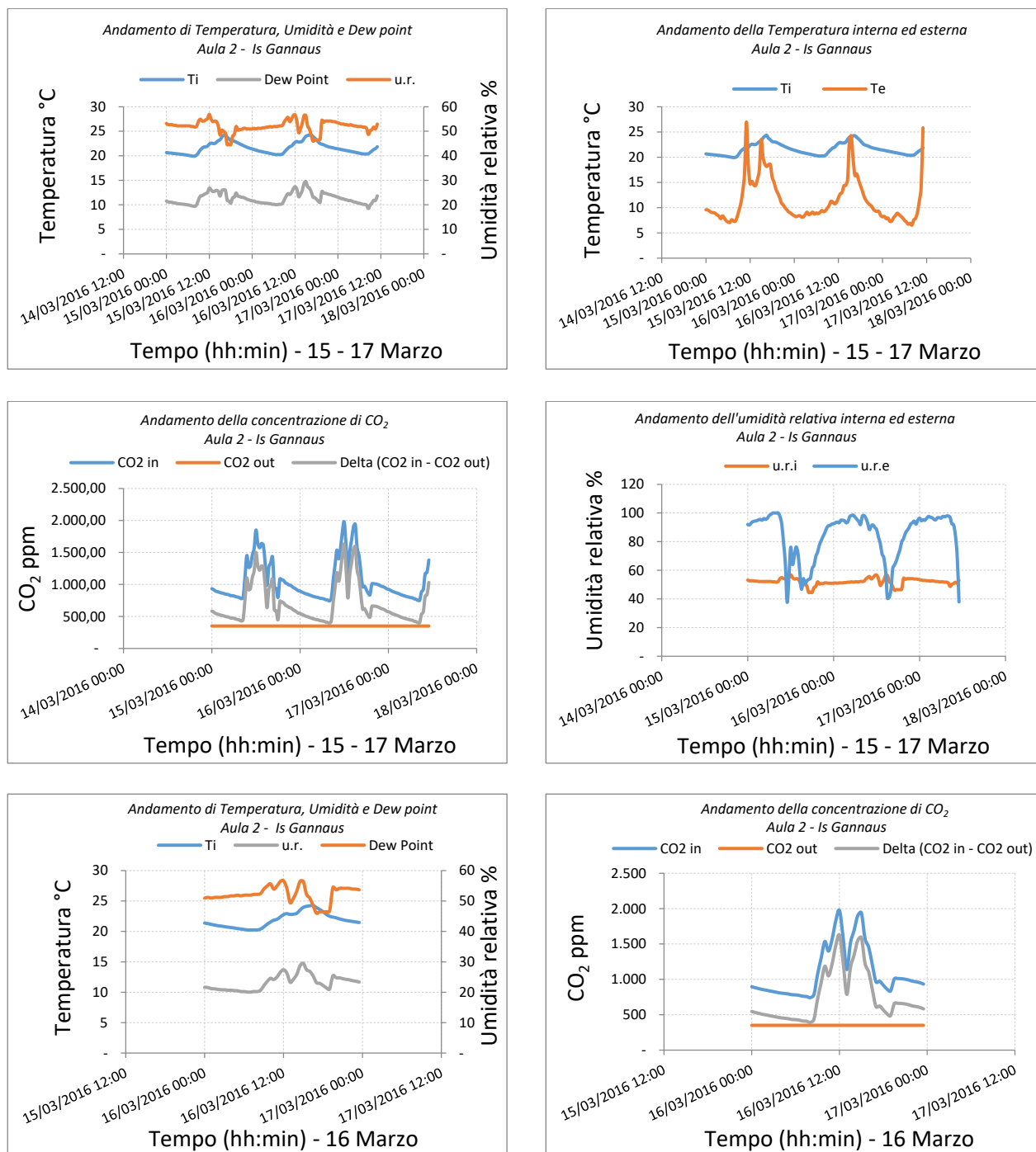


Figura 5.8. Andamento delle variabili indoor misurate nell'aula 2 nel mese di marzo 2016.

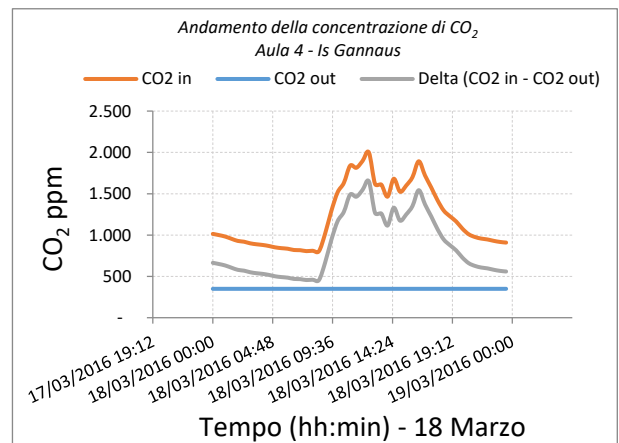
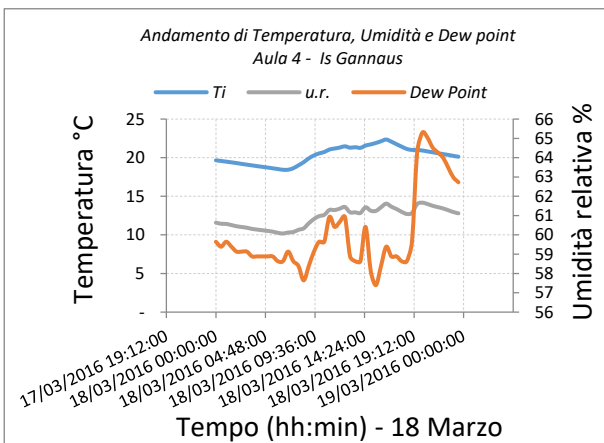
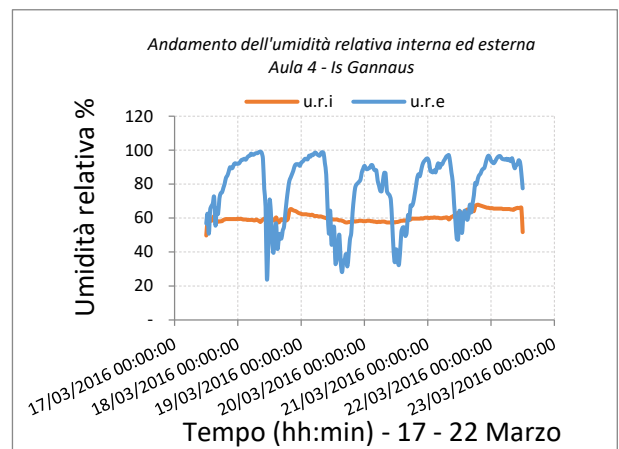
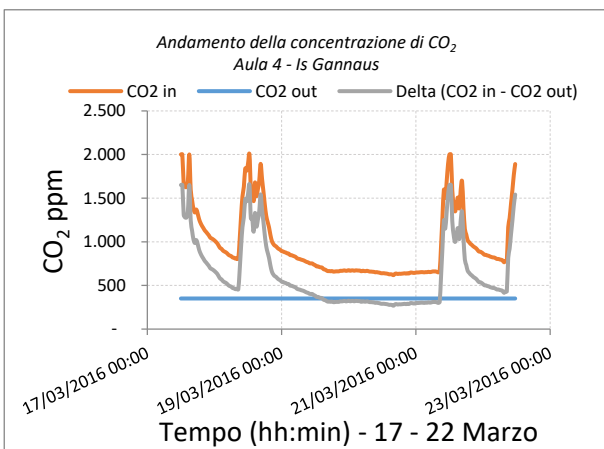
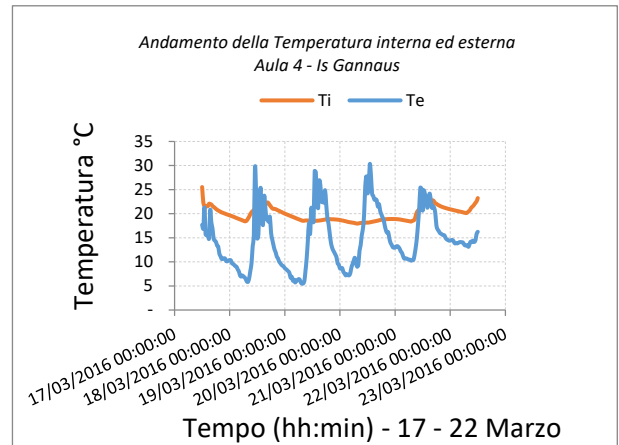
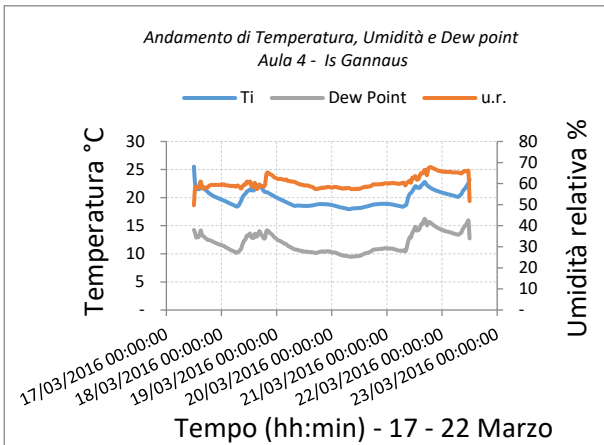


Figura 5.9. Andamento delle variabili indoor misurate nell'aula 4 nel mese di marzo 2016.

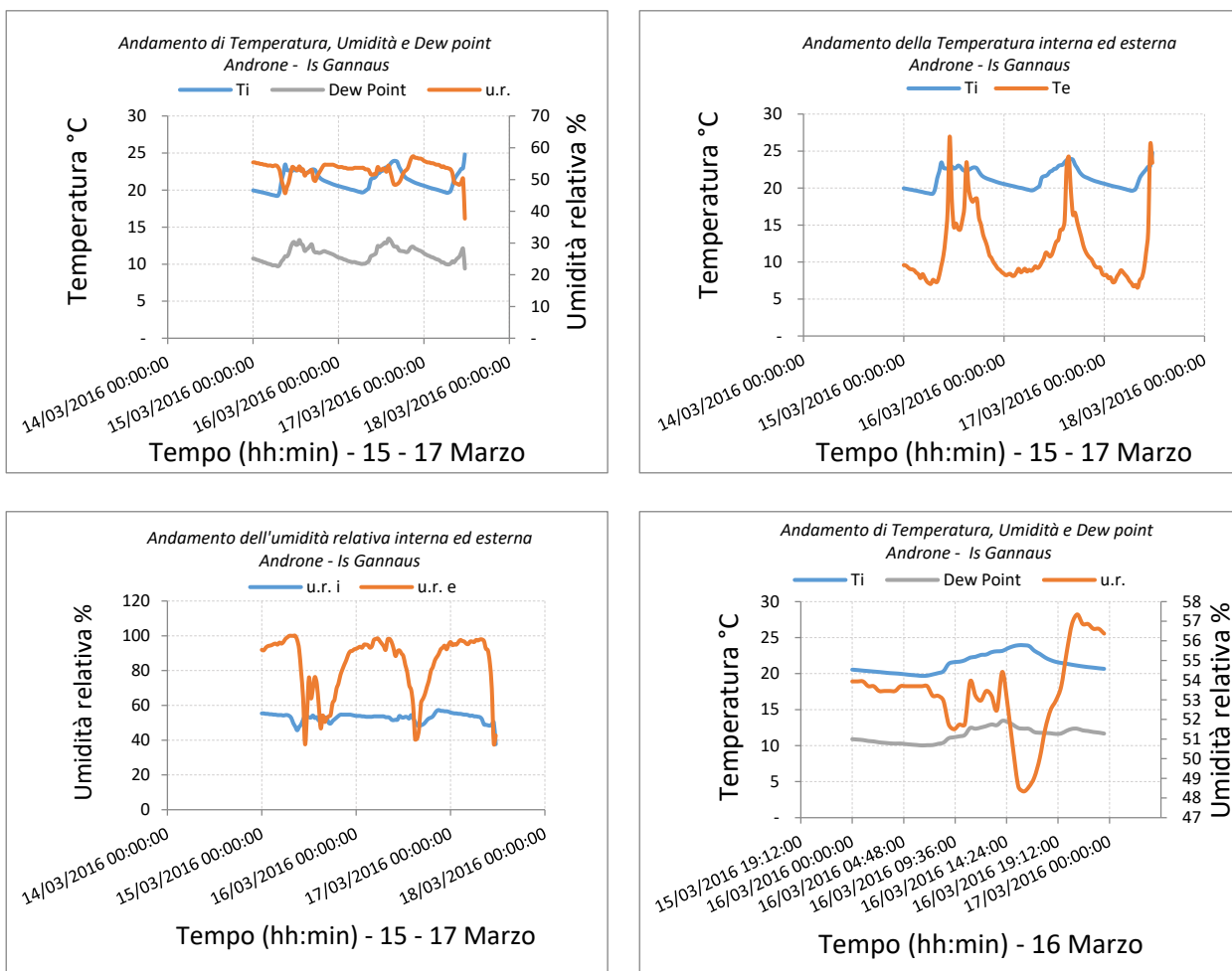


Figura 5.10. Andamento delle variabili indoor misurate nell'androne nel mese di marzo 2016.

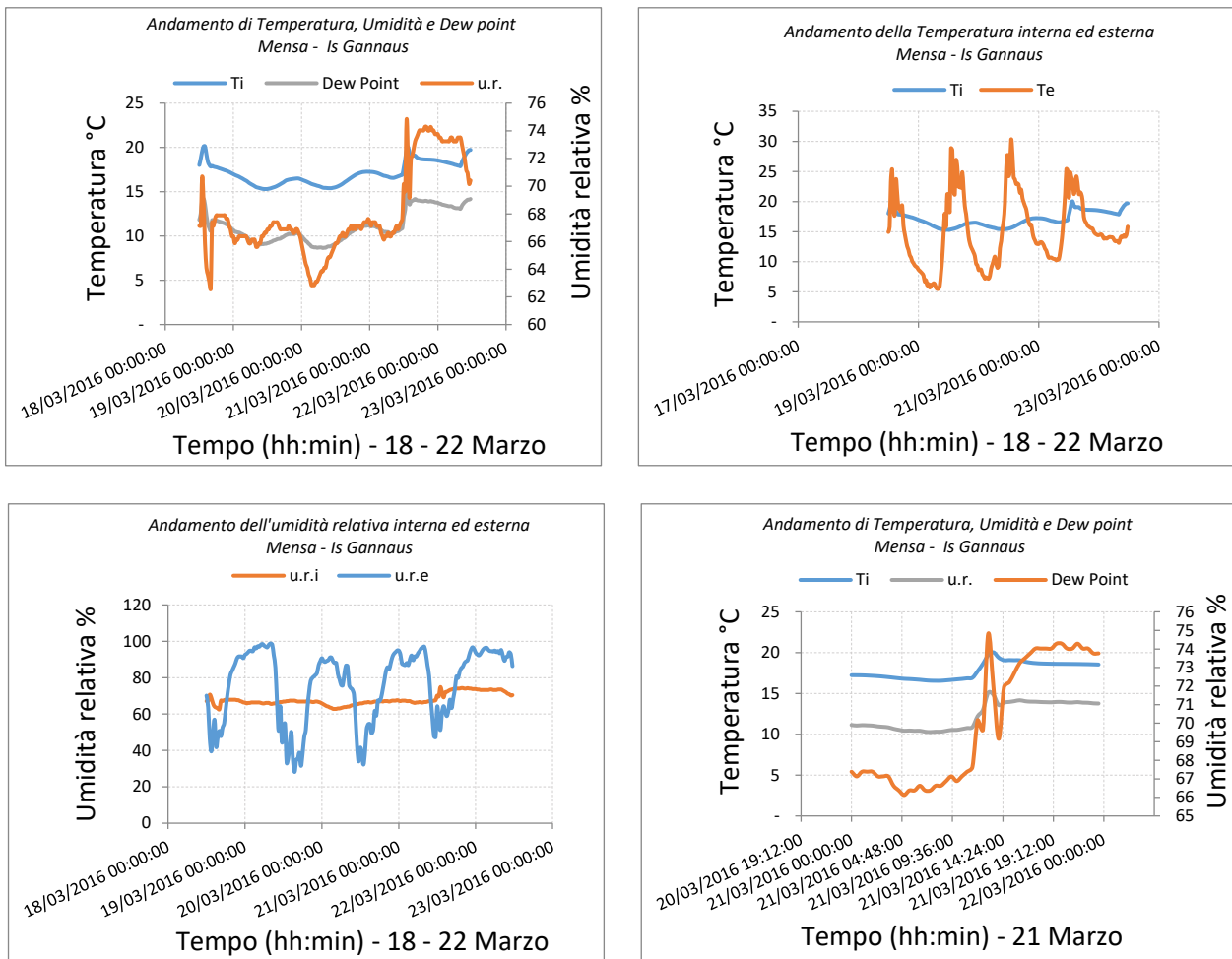


Figura 5.11. Andamento delle variabili indoor misurate nel locale mensa nel mese di marzo 2016.

Il posizionamento delle centraline in postazioni fisse all'interno della aule, specificate poi negli allegati, ha consentito di condurre la campagna sperimentale nella scuola primaria di Is Gannaus.

L'elaborazione dei dati raccolti ha permesso di valutare lo stato di comfort termico, calcolando gli indici di benessere PMV e PPD, come descritti dalla Norma ISO 7730. Per ciascun ambiente oggetto di studio, sono riportati, in maniera sintetica, nelle tabelle 5.14-17, i parametri ambientali registrati e gli indici ad essi associati. Sono stati selezionati i periodi dalle ore 9.30 alle ore 16:00 ovvero durante l'orario di apertura della scuola. Si specifica che, a causa di problemi di connessione con la centralina, non è stato possibile calcolare, per tutti i giorni del monitoraggio, gli indici nei medesimi orari.

Tabella 5.14. Aula 1: indici PMV e PPD calcolati con le misure registrate nel maggio 2016.

Centralina 3 Aula 1 - Is Gannaus								
	Ora	T _{GLOBO} [°C]	T _{ARIA} [°C]	UM %	VEL m/s	T _{OP} [°C]	PMV	PPD
18/05/16	09.30	23,69	22,99	45,14	0,105	23,3	-0,1	5,2
	11.00	24,45	23,63	51,49	0,153	24	0	5
	12.30	24,25	23,49	47,8	0,146	23,9	0	5
	14.30	25,35	24,43	46,98	0,093	24,9	0,4	8,3
	16.00	24,84	24,33	40,92	0,146	24,6	0,1	5,2
19/05/16	09.30	25,09	23,94	51,49	0,14	24,5	0,2	5,8
	11.00	25,28	24,47	56,32	0,051	24,9	0,5	10,2
	12.30	24,42	24,03	53,71	0,13	24,2	0,2	5,8
	14.30	25,32	24,77	56,17	0,031	25	0,5	10,2
	16.00	25,3	24,96	54,4	0,031	25,1	0,5	10,2
20/05/16	09.30	25,2	23,9	53,71	0,096	24,5	0,3	6,9
	11.00	25,67	24,71	54,63	0,023	25,2	0,5	10,2
	12.30	24,53	23,95	50,64	0,145	24,2	0,3	6,9
	14.30	24,96	24,44	49,44	0,04	24,7	0,4	8,3
	16.00	24,61	24,06	45,32	0,08	24,3	0,3	6,9
23/05/16	09.30	27,36	26,14	54,45	0,04	26,7	1	26,1
	10.30	27,09	25,99	45,03	0,04	26,5	0,8	18,5

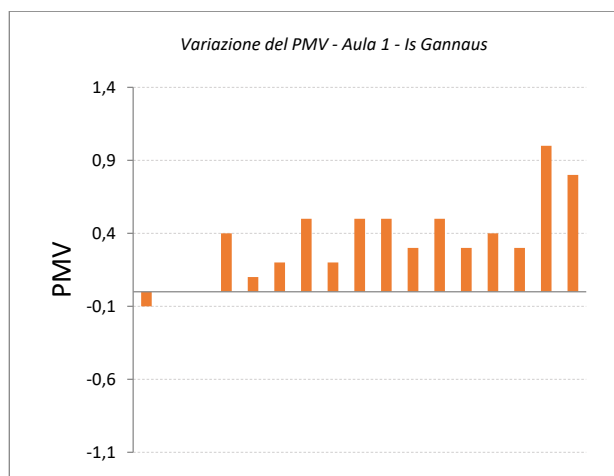
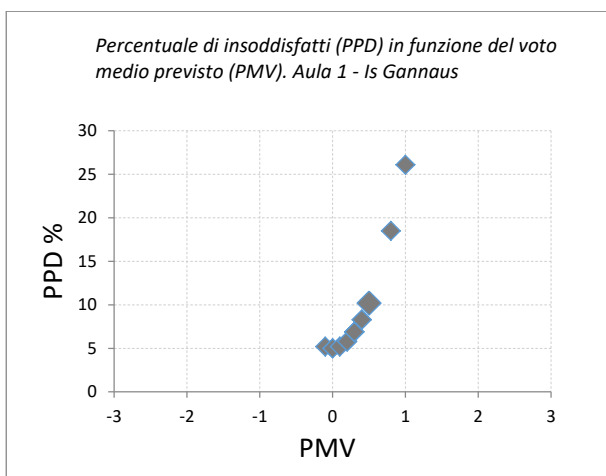


Figura 5.12. Andamento degli indici PPD e PMV relativi al monitoraggio di maggio 2016 aula 1.

Tabella 5.15. Aula 2: indici PMV e PPD calcolati con le misure registrate nel maggio 2016.

Centralina 3 Aula 2 - Is Gannaus								
	Ora	T _{GLOBO} [°C]	T _{ARIA} [°C]	UM %	VEL m/s	T _{OP} [°C]	PMV	PPD
11/05/16	12.00	24,85	24,25	67,26	0,156	24,6	0,3	6,9
	13.00	25,05	24,39	67,01	0,126	24,75	0,4	8,3
	16.00	25,57	24,93	67,21	0,07	25,25	0,6	12,5
13/05/16	09.30	23,96	23,16	63,69	0,063	23,6	0,2	5,8
	11.00	24,02	23,42	64,47	0,063	23,7	0,2	5,8
	12.30	22,58	22,07	63,91	0,041	22,35	-0,2	5,8
	14.30	24	23,47	64,71	0,1	23,75	0,2	5,8
	16.00	23,67	23,42	62,82	0,061	23,55	0,2	5,8
16/05/16	09.30	23,39	22,73	62,94	0,053	23,5	0,1	5,2
	11.00	23,55	22,91	61,71	0,06	23,25	0,1	5,2
	12.30	23,32	22,75	56,89	0,088	23,05	0	5
	14.30	24,74	23,65	57,44	0,06	24,2	0,3	6,9
	16.00	25,02	23,99	51,15	0,101	24,5	0,3	6,9
17/05/16	09.30	22,81	22,25	56,81	0,063	22,55	-0,2	5,8
	11.30	23,96	23,32	59,59	0,126	23,65	0	5
	12.30	23,6	23,2	57,33	0,049	23,4	0,1	5,2
	14.30	25,33	24,33	53,91	0,16	24,8	0,2	5,8
	16.00	25,8	24,96	47,83	0,145	25,4	0,4	8,3
18/05/16	09.30	23,69	22,99	45,14	0,105	23,25	-0,1	5,2
	11.00	24,45	23,63	51,49	0,153	24,05	0	5
	12.30	24,25	23,49	47,8	0,146	23,9	0	5
	14.30	25,35	24,43	46,98	0,093	24,9	0,4	8,3
	16.00	24,84	24,33	40,92	0,146	24,55	0,1	5,2

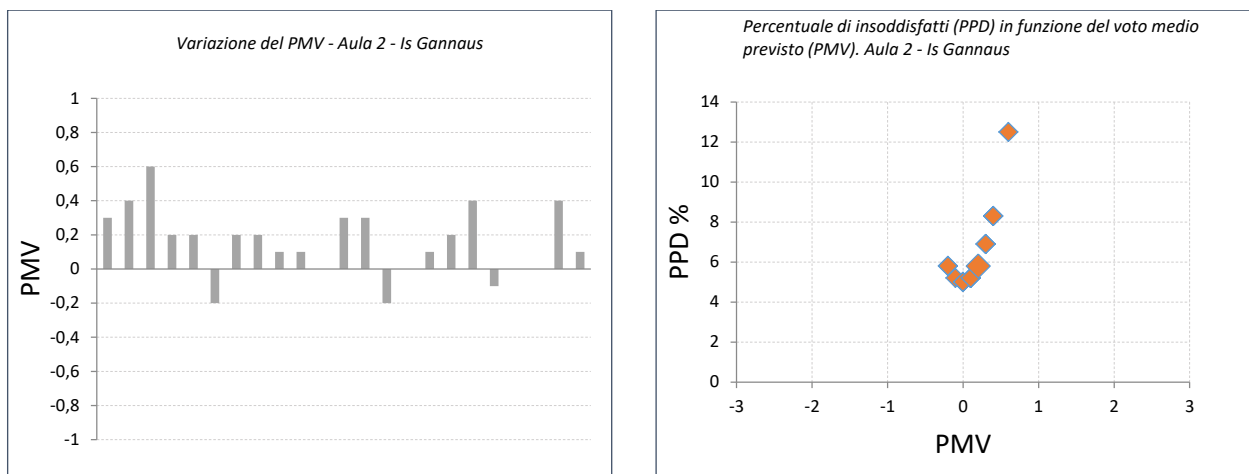


Figura 5.13. Andamento degli indici PPD e PMV relativi al monitoraggio di maggio 2016 aula 2.

Tabella 5.16. Aula 4: indici PMV e PPD calcolati con le misure registrate nel maggio 2016.

Centralina 1 Aula 4 - Is Gannaus								
	Ora	T _{GLOBO} [°C]	T _{ARIA} [°C]	UM %	VEL m/s	T _{OP} [°C]	PMV	PPD
11/05/16	11.00	32,71	24,52	42,81	0,577	27,78	0,5	10,2
	12.00	24,73	24,35	66,46	0,026	24,55	0,5	10,2
16/05/16	09.30	23,94	23,39	64,4	0,025	23,65	0,2	5,8
	16.00	24,1	23,49	65,01	0,013	23,8	0,2	5,8
17/05/16	14.30	24,38	23,91	66,22	0,031	24,15	0,3	6,9
	16.00	24,03	23,61	54,74	0,011	23,8	0,2	5,8
18/05/16	09.30	24,57	23,8	50,93	0,04	24,2	0,2	5,8
	11.30	23,45	22,94	54,83	0,04	23,2	0	5
	14.30	24,2	23,27	51,15	0,03	23,75	0,1	5,2
	16.00	24,36	23,47	50,66	0,02	23,95	0,2	5,8

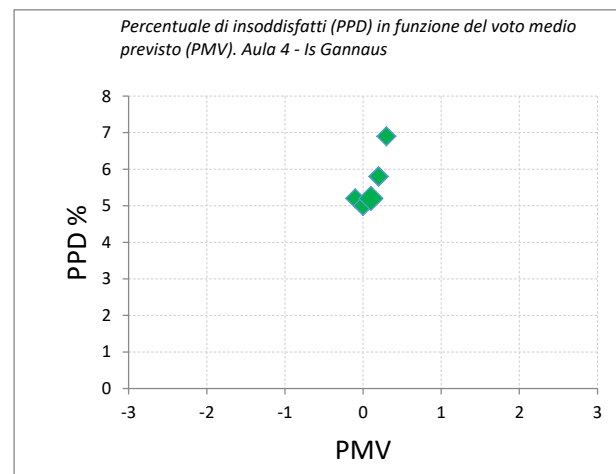
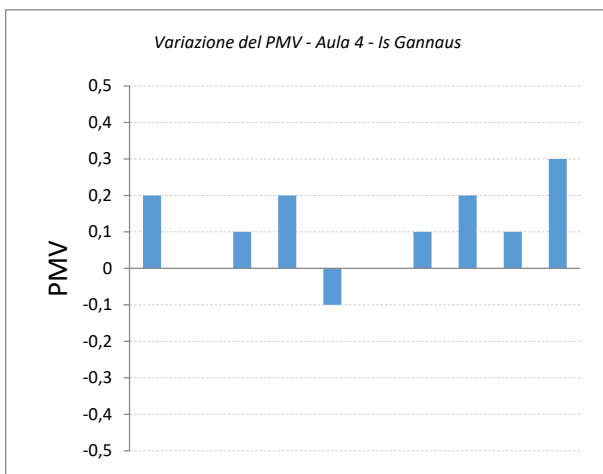


Figura 5.14. Andamento degli indici PPD e PMV relativi al monitoraggio di maggio 2016 aula 4.

Tabella 5.17. Androne: indici PMV e PPD calcolati con le misure registrate nel maggio 2016.

Centralina 1 Androne - Is Gannaus								
	Ora	T _{GLOBO} [°C]	T _{ARIA} [°C]	UM %	VEL m/s	T _{OP} [°C]	PMV	PPD
18/05/16	09.30	24,57	23,8	50,93	0,016	24,2	0,2	5,8
	12.30	23,68	22,92	51,57	0,05	23,3	0	5
	14.30	24,2	23,27	51,15	0,016	23,75	0,1	5,2
	16.00	24,36	23,47	50,66	0,015	23,95	0,2	5,8
19/05/16	09.30	23,01	22,43	54,56	0,028	22,7	-0,1	5,2
	12.30	23,6	22,9	60,55	0,046	23,25	0	5
	14.30	23,78	23,06	59,06	0,015	23,45	0,1	5,2
	16.00	24,3	23,41	60,26	0,02	23,85	0,2	5,8
20/05/16	09.30	23,39	22,73	62,94	0,053	23,5	0,1	5,2
	16.00	25,02	23,99	51,15	0,101	24,5	0,3	6,9

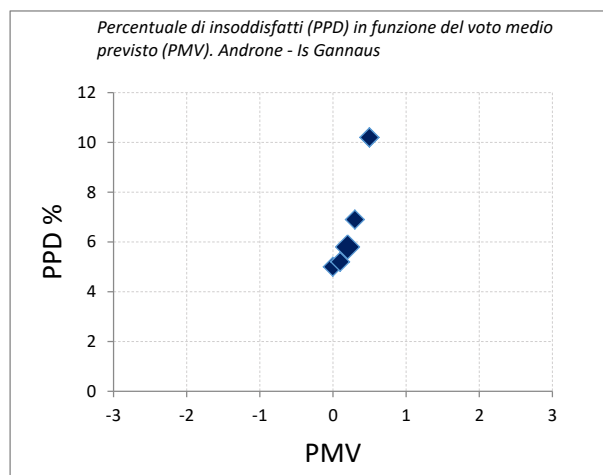
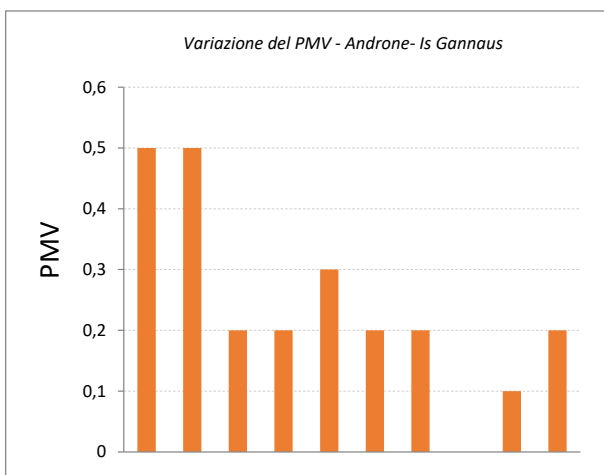


Figura 5.15. Andamento degli indici PPD e PMV relativi al monitoraggio di maggio 2016 androne.

5.2 Scuola primaria “Is Meis”

La scuola primaria di Is Meis (plesso Via Lubiana), è un edificio di recente costruzione, ubicato alla periferia sud della città. La scuola, disposta su un unico piano, è composta da cinque aule. Il vasto androne centrale, oltre ad essere adibito a sala mensa, è utilizzato anche per le attività teatrali. E’ inoltre presente un altro locale adibito sia ad aula informatica che ad aula docenti.

L’edificio è dotato anche di altre aule speciali:

- l’aula d’informatica (dotata di numerose postazioni multimediali), utilizzata anche come segreteria;
- l’aula blindata in cui trovano posto i sussidi didattici di cui la scuola dispone come la TV, la lavagna luminosa, il fotocopiatore, il videoregistratore, l’impianto stereo ecc...

L’attività motoria viene svolta in un ampio locale che è ubicato al piano terra. Quando il tempo lo permette, l’attività motoria si svolge nel campo situato all’interno del cortile della scuola.



Figura 5.16. Scuola primaria Is Meis: prospetto principale.

La scuola ospita circa 60 alunni ed è frequentata dalle ore 8:30 alle ore 16:30 dal lunedì al venerdì.

Tabella 5.18. Scuola Is Meis: ripartizione degli alunni per classe (aa 2015-2016).

Numero alunni per classe (anno 2015-2016)	
Classe III [^] (aula 6)	20
Classe IV [^] (aula 2)	20
Classe V [^] (aula 4)	20
Totale	60

Anche per l’edificio Is Meis si riportano nelle tabelle 5.19-20 seguenti, i dati relativi alle campagne di monitoraggio con gli ambienti che sono stati oggetto d’indagine, i parametri misurati e le strumentazioni impiegate, rispettivamente nel periodo marzo – aprile e nel mese di maggio 2016.

Tabella 5.19. Campagna di monitoraggio marzo-aprile 2016 edificio scolastico Is Meis.

<i>Marzo –Aprile 2016 – Is Meis</i>			
Ambienti	Parametri monitorati	Strumentazione	Durata monitoraggio
<i>Aula 2</i>	<i>Indoor: Temperatura interna (Ti), Umidità relativa interna (u.r.i), Concentrazione di CO₂(Cco₂); Outdoor: Temperatura esterna (Te) Umidità relativa esterna (u.r.e).</i>	<i>Indoor: - Tinytag ULTRA 2 - Tinytag CO₂- Logger</i>	INIZIO <i>31/03/16 h. 00:00</i>
			FINE <i>05/04/16 h. 12:00</i>
<i>Aula 6</i>	<i>Indoor: Temperatura interna (Ti), Umidità relativa interna (u.r.i), Outdoor: Temperatura esterna (Te) Umidità relativa</i>	<i>Indoor: - Tinytag ULTRA 2 Outdoor: TGP-4500 Tinytag Plus</i>	INIZIO <i>31/03/16 h. 00:00</i>
			FINE <i>05/04/16 h. 12:00</i>
<i>Androne</i>	<i>Indoor: Temperatura interna (Ti), Umidità relativa interna (u.r.i); Outdoor: Temperatura esterna (Te) Umidità relativa</i>	<i>Indoor: - Tinytag ULTRA 2 Outdoor: TGP-4500 Tinytag Plus</i>	INIZIO <i>31/03/16 h. 00:00</i>
			FINE <i>05/04/16 h. 12:00</i>

Tabella 5.20. Campagna di monitoraggio maggio 2016 edificio scolastico Is Meis.

<i>Maggio 2016- Is Meis</i>			
Ambienti	Parametri monitorati	Strumentazione	Durata monitoraggio
<i>Aula 2</i>	Temperatura interna (Ti), Umidità relativa interna (u.r.i), Concentrazione di CO ₂ interna(Cco ₂); Temperatura radiante (Tr); Velocità e direzione delle correnti d'aria interne (va)	<i>Centralina n.2 Grillo-MMTS</i>	INIZIO 10/05/16 h. 11:15
			FINE 17/05/16 h. 12:40
<i>Aula 3</i>	Temperatura interna (Ti), Umidità relativa interna (u.r.i), Concentrazione di CO ₂ interna(Cco ₂); Temperatura radiante (Tr); Velocità e direzione delle correnti d'aria interne (va)	<i>Centralina n.4 Grillo-MMTS</i>	INIZIO 17/05/16 h. 12:00
			FINE 23/05/16 h 12:30
<i>Aula 4</i>	Temperatura interna (Ti), Umidità relativa interna (u.r.i), Concentrazione di CO ₂ interna(Cco ₂); Temperatura radiante (Tr); Velocità e direzione delle correnti d'aria interne (va)	<i>Centralina n.2 Grillo-MMTS</i>	INIZIO 17/05/16 h. 12:45
			FINE 23/05/16 h. 12:30
<i>Aula 6</i>	Temperatura interna (Ti), Umidità relativa interna (u.r.i), Concentrazione di CO ₂ interna(Cco ₂); Temperatura radiante (Tr); Velocità e direzione delle correnti d'aria interne (va)	<i>Centralina n.4 Grillo-MMTS</i>	INIZIO 10/05/16 h. 11:40
			FINE 17/05/16 h. 12:00
<i>Androne</i>	Temperatura interna (Ti), Umidità relativa interna (u.r.i), Concentrazione di CO ₂ interna(Cco ₂); Temperatura radiante (Tr); Velocità e direzione delle correnti d'aria interne (va) esterna (Te) Umidità relativa	<i>Centralina n.5 Grillo-MMTS</i>	INIZIO 17/05/16 h. 11:26
			FINE 23/05/16 h. 12:30

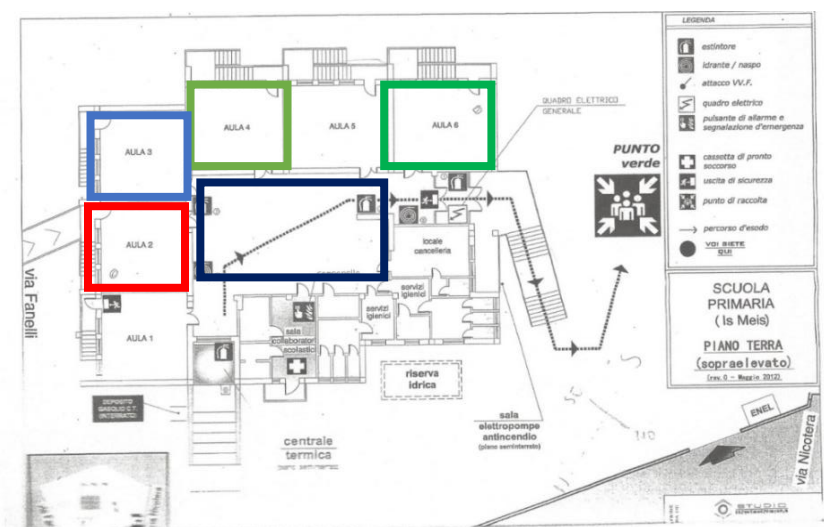


Figura 5.17. Planimetria scuola Is Meis: aule oggetto del monitoraggio maggio 2016.

Le immagini di seguito riportate (figura 5.18) sono relative agli spazi in cui è stato eseguito il monitoraggio.



Figura 5.18. Alcuni degli ambienti oggetto di monitoraggio.

In tabella 5.21 seguente sono riportati i dati caratteristici della scuola, mentre nelle tabelle 5.22-30 successive, per ciascun locale monitorato sono riportate le informazioni relative a:

- Dati geometrici;
- Dati geometrici finestre e porte;
- Dati caratteristici luci artificiali;
- Schema semplificato sulla ubicazione dei banchi, delle luci e delle finestre;
- Misurazioni intensità luminosa per postazione.

Tabella 5.21. Is Meis: caratteristiche dell'edificio in analisi.

Dati Identificativi	
Tipo di scuola	Primaria
Denominazione	Is Meis
Indirizzo	Via Lubiana (Via Nicotera), 09010
Codice meccanografico	CAEE871051
Codice principale istituto	CAIC87100P
Anno di costruzione	Dopo il 1976
Destinazione d'uso attuale	Scuola, uffici
Proprietà	Comune di Carbonia
N. Tot. alunni	66
Zona Climatica	C
Gradi giorno	922
Dati generali	
Superficie Complessiva [m ²]	765
N. piani	2
Altezza d'interpiano [m]	4,05
N. vano scala e tipologia	1 esterno
Stato di conservazione dell'edificio	Sufficiente
Copertura edificio	Piana
Struttura edificio	Misto cemento armato e muratura
Infissi e finestre	
Telaio infissi	Alluminio
Schermature	Avvolgibili in PVC
Tipo di vetro	Semplice
Settore elettrico	
Tipologia lampade	Fluorescenza
Potenza complessiva	Non nota
Consumo medio annuo 2012-1014 [kWh]	14.960
Spesa media annua 2012-2014 [€]	4.308,79
Settore termico	
Caldaia	HOVAL M79
Rendimento di combustione [%]	Oltre 15 anni
Combustibile	Gasolio
Potenza della caldaia [kWt]	79
Consumo medio annuo 2012-1014 [l]	3.500
Spesa media annua 2012-2014 [€]	5.804,45

Aula 2

Tabella 5.22. Ambiente monitorato: Aula 2: dati caratteristici.

Aula 2 – Is Meis	
Numero alunni	20
Dati geometrici	
Altezza_MAX	3,927 m
Altezza_MIN	3,435 m
Altezza_MEDIA	3,681 m
Larghezza	5,964 m
Lunghezza	6,225 m
Area	37,12 m ²
Volume	136,66 m ³
Finestre e porte	
Numero finestre	3
Dimensioni finestre	(H) 2,035 m x (L) 1,133 m
Telaio infissi	Alluminio
Schermature	Avvolgibili in PVC e tende interne
Tipo di vetro	Semplice
Porta interna	(H) 2,873 m x (L) 1,140 m
Porta d'ingresso elemento opaco	(H) 2,257 m x (L) 1,222 m
Porta d'ingresso elemento finestrato	(H) 0,63 m x (L) 1,222 m
Lampade	
Tipologia	Fluorescenza
Quantità	6 a 2 corpi a fluorescenza

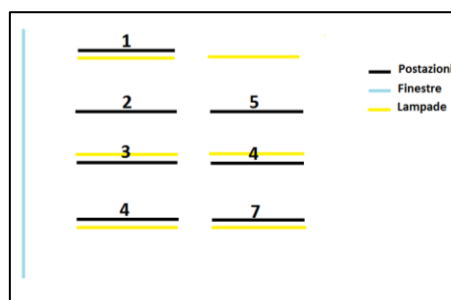


Figura 5.19. Aula 2: schema semplificato.

Tabella 5.23. Ambiente monitorato: Aula 2. Dati misurazioni illuminamento

Postazione	Illuminamento (Lux) Aula 2		Contributo	Distanza dal punto di misura al corpo luce
	Luce artificiale			
	ON	OFF		
1 Cattedra	445	77	368	2,764
2	560	138	422	2,847
3	700	150	550	2,810
4	672	212	460	2,748
5	599	100	499	3,038
6	540	88	452	3,053
7	520	77	443	3,018

Aula 3

Tabella 5.24. Ambiente monitorato: Aula 3: dati caratteristici.

Aula 3 Segreteria – Is Meis	
Numero alunni	
Dati geometrici	
Altezza_MAX	3,922 m
Altezza_MIN	3,449 m
Altezza_MEDIA	3,696 m
Larghezza	5,969 m
Lunghezza	6,674 m
Area	39,83 m ²
Volume	147,21 m ³
Finestre e porte	
Numero finestre	4
Dimensioni finestre	(H) 1,659m x (L) 1,135 m
Telaio infissi	Alluminio
Schermature	Avvolgibili in PVC e tende interne
Tipo di vetro	Semplice
Porta d'ingresso	(H) 2,116 m x (L) 0,906 m
Lampade	
Tipologia	Fluorescenza
Quantità	6 a 2 corpi a fluorescenza

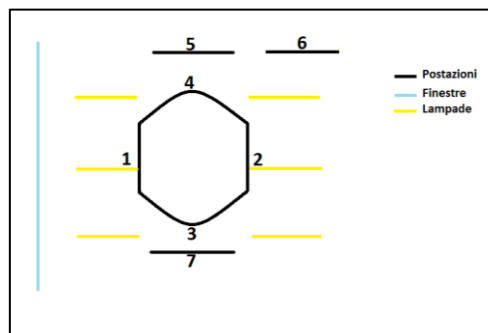


Figura 5.20. Aula 3: schema semplificato.

Tabella 5.25. Ambiente monitorato: Aula 3. Dati misurazioni illuminamento.

Postazione	Illuminamento (Lux) Aula 3 Segreteria			Contributo	Distanza dal punto di misura al corpo luce
	Luce artificiale				
	ON	OFF			
1	616	90	526	2,866	
2	618	90	528	2,951	
3	675	107	568	2,917	
4	567	68	499	2,903	
5	427	37	390	2,909	
6	420	42	378	3,110	
7	560	155	405	2,917	

Aula 4

Tabella 5.26. Ambiente monitorato: Aula 4: dati caratteristici.

Aula 4 – Is Meis	
Numero alunni	20
Dati geometrici	
Altezza_MAX	3,931 m
Altezza_MIN	3,439 m
Altezza_MEDIA	3,706 m
Larghezza	5,994 m
Lunghezza	6,499 m
Area	38,95 m ²
Volume	144,36 m ³
Finestre e porte	
Numero finestre	3
Dimensioni finestre	(H) 2,035 m x (L) 1,133 m
Telaio infissi	Alluminio
Schermature	Avvolgibili in PVC e tende interne
Tipo di vetro	Semplice
Porta interna	(H) 2,873 m x (L) 1,140 m
Porta d'ingresso elemento opaco	(H) 2,257 m x (L) 1,222 m
Porta d'ingresso elemento finestrato	(H) 0,63 m x (L) 1,222 m
Lampade	
Tipologia	Fluorescenza
Quantità	6 a 2 corpi a fluorescenza

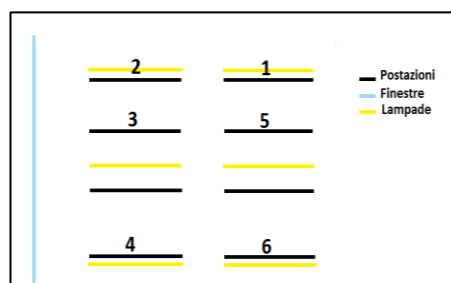


Figura 5.21. Aula 4: schema semplificato.

Tabella 5.27. Ambiente monitorato: Aula 4. Dati misurazioni illuminamento.

Illuminamento (Lux) Aula 4				
Postazione	Luce artificiale		Contributo	Distanza dal punto di misura al corpo luce
	ON	OFF		
1 Cattedra	566	110	456	2,701
2	590	195	395	2,844
3	622	255	367	2,952
4	550	260	290	3,102
5	570	116	454	3,092
6	628	67	561	2,953

Aula 6

Tabella 5.28. Ambiente monitorato: Aula 6: dati caratteristici.

Aula 6 – Is Meis	
Numero alunni	20
Dati geometrici	
Altezza_MAX	3,881 m
Altezza_MIN	3,442 m
Altezza_MEDIA	3,681 m
Larghezza	5,993 m
Lunghezza	6,931 m
Area	41,53 m ²
Volume	152,9 m ³
Finestre e porte	
Numero finestre	3
Dimensioni finestre	(H) 2,035 m x (L) 1,133 m
Telaio infissi	Alluminio
Schermature	Avvolgibili in PVC e tende interne
Tipo di vetro	Semplice
Porta interna	(H) 2,873 m x (L) 1,140 m
Porta d'ingresso elemento opaco	(H) 2,257 m x (L) 1,222 m
Porta d'ingresso elemento finestrato	(H) 0,63 m x (L) 1,222 m
Lampade	
Tipologia	Fluorescenza
Quantità	6 a 2 corpi a fluorescenza

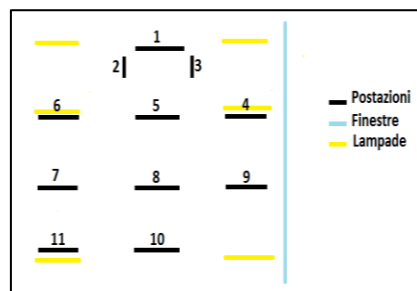


Figura 5.22. Aula 6: schema semplificato.

Tabella 5.29. Ambiente monitorato: Aula 6. Dati misurazioni illuminamento.

Illuminamento (Lux) Aula 6				
Postazione	Luce artificiale		Contributo	Distanza dal punto di misura al corpo luce
	ON	OFF		
1	1272	1082	190	3,084
2	604	399	205	3,187
3	1675	1553	122	3,221
4	2060	2054	6	3,040
5	1441	1229	212	3,073
6	763	495	268	3,065
7	654	407	247	3
8	982	648	334	3,053
9	2065	1768	297	2,953
10	1045	693	352	2,937
11	562	360	202	2,909

Androne

Per il locale “androne” sono invece riportati i soli dati geometrici.

Tabella 5.30. Ambiente monitorato: Androne: dati caratteristici.

Androne – Is Meis	
Dati geometrici	
Altezza_MAX	3,954 m
Altezza_MIN	3,437 m
Altezza_MEDIA	3,6955 m
Larghezza	8,784 m
Lunghezza	13,747 m
Area	120,75 m ²
Volume	446,24 m ³
Lampade	
Tipologia	Fluorescenza
Quantità	15 a 2 corpi a fluorescenza

Nelle seguenti immagini (figure 5.23-25) sono riportati gli andamenti delle variabili indoor monitorate nel periodo marzo-aprile.

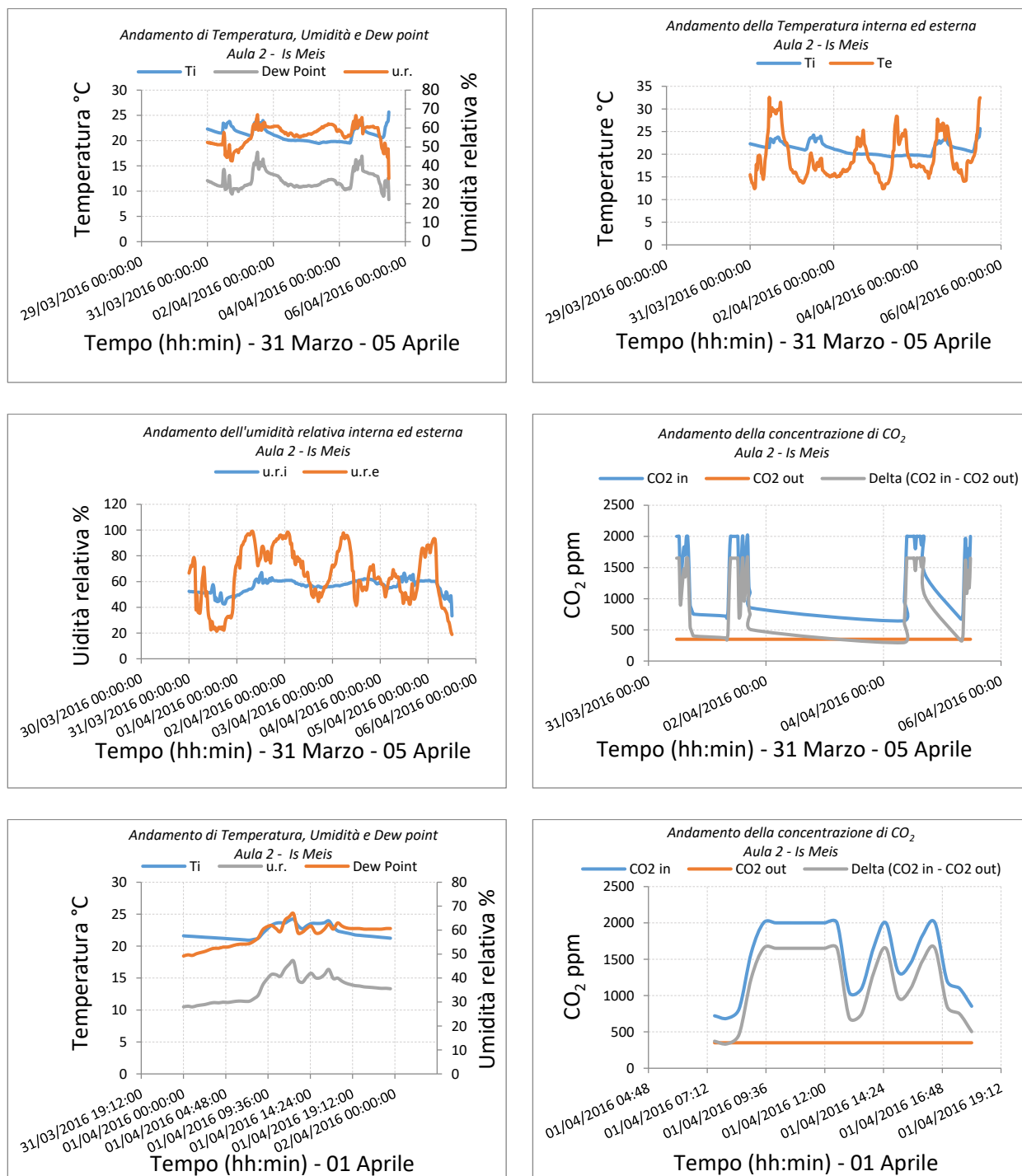


Figura 5.23. Andamento delle variabili indoor misurate nell'aula 2 nel periodo marzo-aprile 2016.

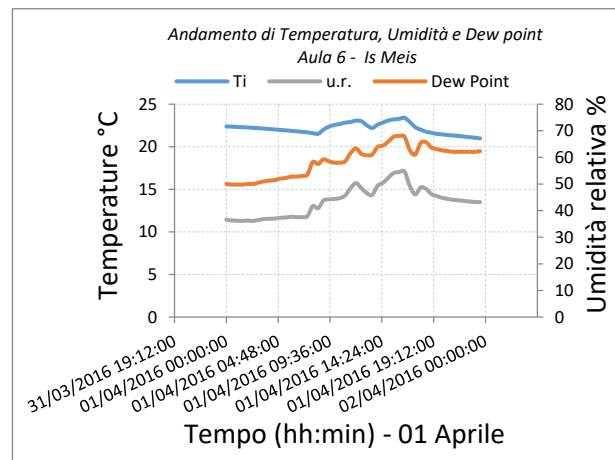
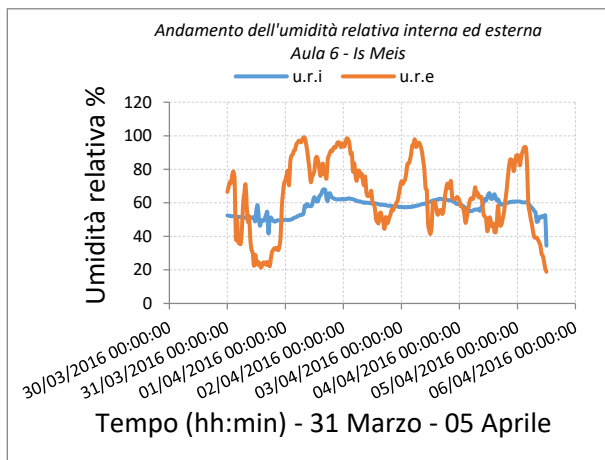
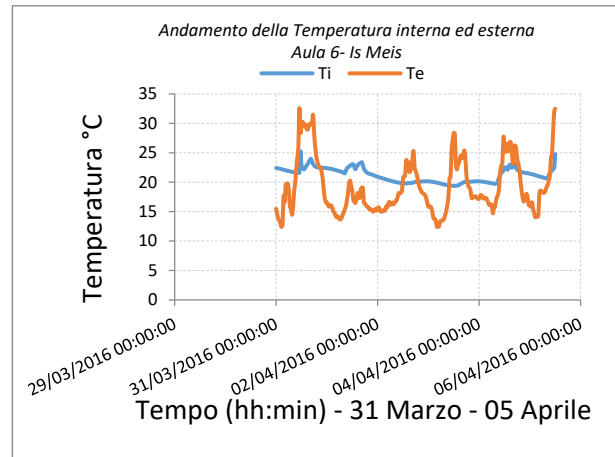
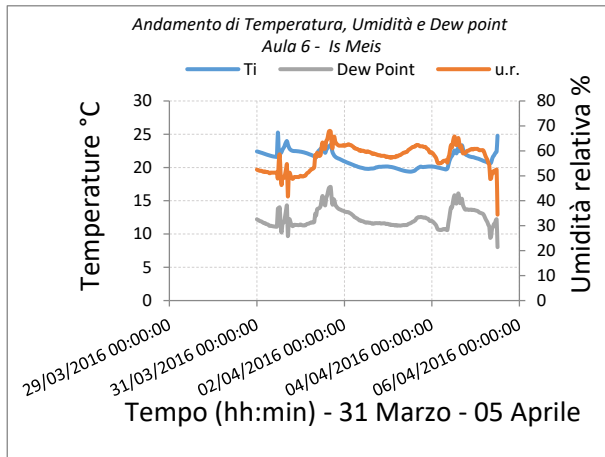


Figura 5.24. Andamento delle variabili indoor misurate nell'aula 6 nel periodo marzo-aprile 2016.

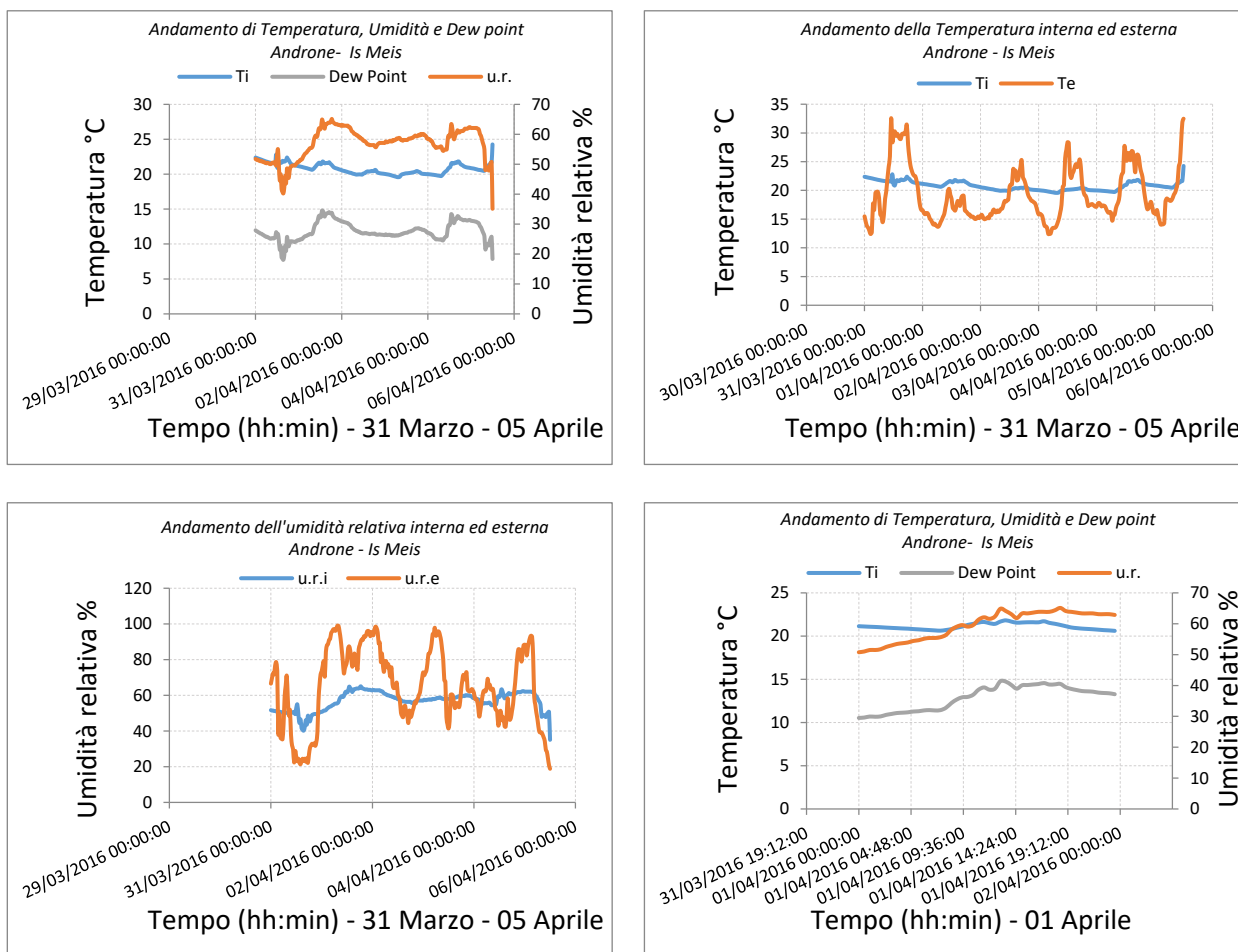


Figura 5.25. Andamento delle variabili indoor misurate nell'androne nel periodo marzo-aprile 2016.

I dati relativi alle misurazioni dei parametri microclimatici nonché i relativi indici, calcolati per ciascun ambiente, sono riportati nelle tabelle 5.31-35 seguenti, con i relativi andamenti grafici riportati nelle figure 5.26-30. Per il calcolo degli indici, sono stati selezionati i periodi dalle ore 9.30 alle ore 16:00, ovvero durante l'orario di apertura della scuola. Si specifica che, anche in questo caso, a causa di problemi di connessione con la centralina, non è stato possibile calcolare, per tutti i giorni del monitoraggio, gli indici nei medesimi orari.

Tabella 5.31. Aula 2: indici PMV e PPD calcolati con le misure registrate nel maggio 2016.

Centralina 3 Aula 2 - Is Meis								
	Ora	T _{GLOBO} [°C]	T _{ARIA} [°C]	UM %	VEL m/s	T _{OP} [°C]	PMV	PPD
10/05/16	11.30	25,75	25,01	62,96	0,046	25,4	0,7	15,3
	12.30	25,13	24,75	61,86	0,053	24,95	0,5	10,2
	14:30	26,31	25,5	65,88	0,051	25,9	0,8	18,5
	16.00	25,93	25,56	63,7	0,071	25,75	0,8	18,5
11/05/16	09.30	25,14	24,11	68,81	0,056	24,6	0,5	10,2
	12:30	22,32	21,74	62,67	0,016	22	-0,3	6,9
	14:30	22,36	21,79	62,39	0,021	22,1	-0,3	6,9
	16:00	22,35	21,79	62,05	0,021	22,1	-0,3	6,9
13/05/16	09.30	24,06	23,14	62,05	0,033	23,6	-0,1	5,2
	11.30	24,59	23,63	68,31	0,074	24,6	-0,4	8,3
	14.30	23,9	23,5	64,39	0,081	23,7	-0,2	5,8
	16.30	23,19	22,55	67,03	0,058	22,9	0	5
16/05/16	09.30	25,95	25,03	59,2	0,086	25,5	0,6	12,5
	11.30	23,61	23,45	54,79	0,063	23,55	0,1	5,2
	14:30	24,48	23,66	61,81	0,075	24,1	0,3	6,9
	16:00	23,45	23,2	51,11	0,048	23,35	0	5
17/05/16	09.00	23,78	22,38	57,66	0,041	23,1	0	5
	10.30	24,37	23,3	59,88	0,056	23,85	0,2	5,8
	11.30	23,2	23,19	58,08	0,052	23,2	0	5

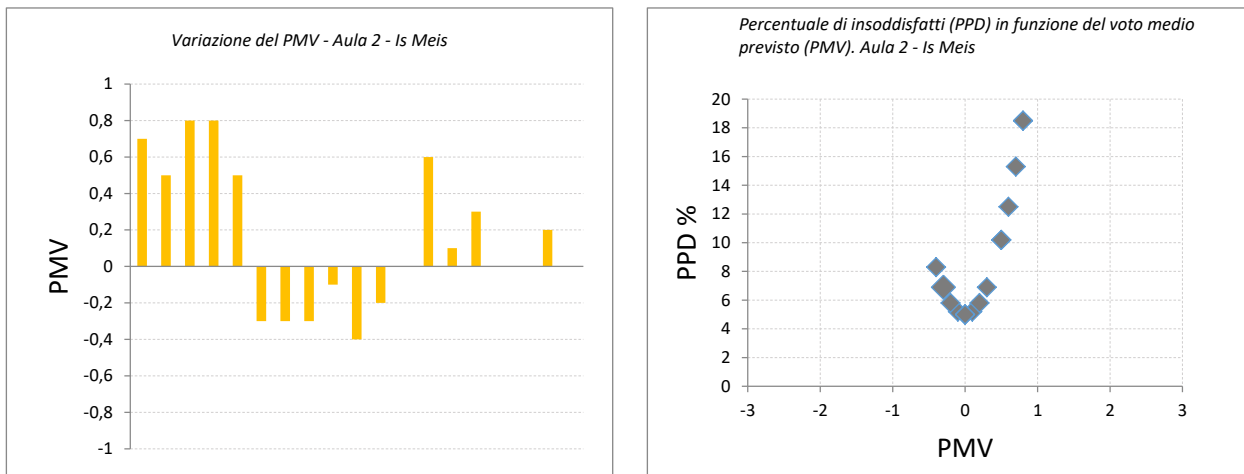


Figura 5.26. Andamento degli indici PPD e PMV relativi al monitoraggio di maggio 2016 aula 2.

Tabella 5.32. Aula 3: indici PMV e PPD calcolati con le misure registrate nel maggio 2016.

Centralina 4 Aula 3 - Is Meis								
	Ora	T _{GLOBO} [°C]	T _{ARIA} [°C]	UM %	VEL m/s	T _{OP} [°C]	PMV	PPD
17/05/16	12.30	21,49	21,16	64,66	0,048	21,35	-0,4	8,3
	14.00	21,29	20,89	60,25	0,071	21,1	-0,5	10,2
	16.00	22,54	21,9	57,94	0,033	22,2	-0,3	6,9
18/05/16	09.30	21,28	20,84	49,4	0,023	21,05	-0,6	12,5
	11.30	21,55	21,12	53,89	0,021	21,35	-0,5	10,2
	13.30	21,69	21,26	48,23	0,058	21,5	-0,5	10,2
	14.30	21,82	21,32	41,01	0,07	21,55	-0,5	10,2
	16.00	22,02	21,54	43,92	0,061	21,75	-0,5	10,2
19/05/16	09.30	21,98	21,53	50,24	0,03	21,75	-0,4	8,3
	11.30	22,4	22,12	54,4	0,068	22,25	-0,3	6,9
	13.30	22,26	21,92	56,57	0,048	22,1	-0,3	6,9
	15.30	22,4	21,93	57,62	0,049	22,15	-0,3	6,9
	16.00	22,43	22,02	58,43	0,046	22,2	-0,2	5,8
20/05/16	09.30	21,96	21,51	50,88	0,015	21,75	-0,4	8,3
	11.30	22,13	21,75	53,9	0,038	21,95	-0,3	6,9
	13.30	22	21,63	54,99	0,035	21,8	-0,4	8,3
	16.00	22,32	21,85	53,85	0,038	22,1	-0,3	6,9

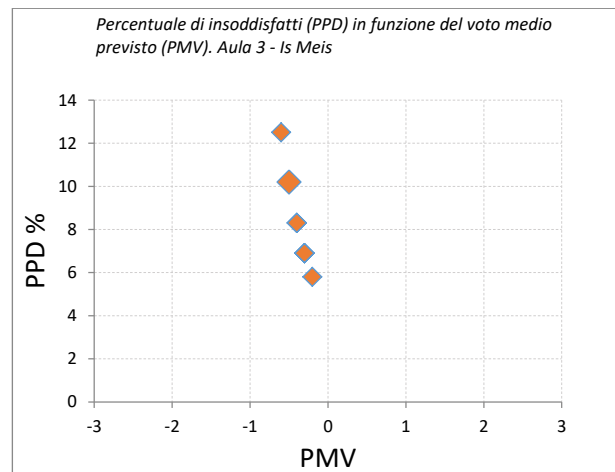
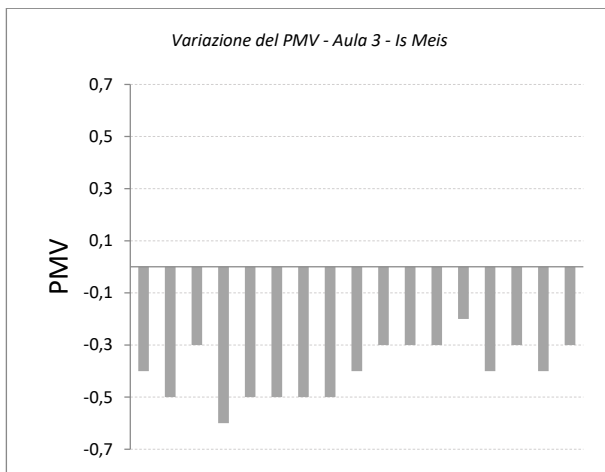


Figura 5.27. Andamento degli indici PPD e PMV relativi al monitoraggio di maggio 2016 aula 3.

Tabella 5.33. Aula 4: indici PMV e PPD calcolati con le misure registrate nel maggio 2016.

Centralina 2 Aula 4 - Is Meis								
	Ora	T _{GLOBO} [°C]	T _{ARIA} [°C]	UM %	VEL m/s	T _{OP} [°C]	PMV	PPD
18/05/16	13.00	23,39	22,58	42,95	0,04	23	-0,1	5,2
	14.30	24,95	23,9	52,29	0,066	24,45	0,3	6,9
	15.30	25,19	24,35	55,67	0,076	24,8	0,4	8,3
19/05/16	09.30	23,55	22,8	57,25	0,043	23,2	0	5
	11.30	24,68	23,84	59,88	0,068	24,25	0,3	6,9
	13.30	25,09	24,1	60,16	0,101	24,6	0,4	8,3
	15.30	25,55	24,93	57,46	0,091	25,25	0,6	12,5
20/05/16	09.30	23,23	22,47	54,18	0,05	22,85	-0,1	5,2
	11.00	23,54	22,69	58,08	0,041	23,1	0	5
	12.00	23,58	22,97	56,54	0,045	23,3	0	5
	16.00	22,69	22,03	53,91	0,016	22,35	-0,2	5,8
23/05/16	09.30	24,94	24,05	56,85	0,056	24,5	0,4	8,3
	10.30	24,95	24,26	52,46	0,061	24,65	0,4	8,3
	11.30	25,38	24,6	50,77	0,07	25	0,5	10,2

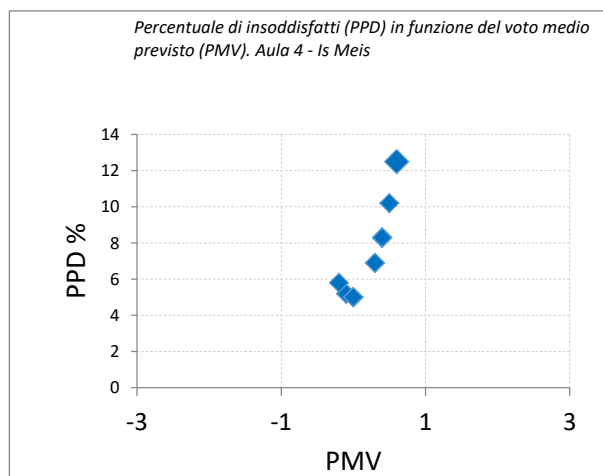
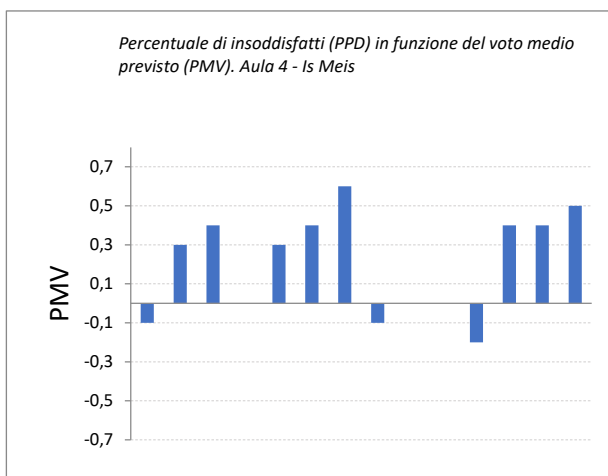


Figura 5.28. Andamento degli indici PPD e PMV relativi al monitoraggio di maggio 2016 aula 4.

Tabella 5.34. Aula 6: indici PMV e PPD calcolati con le misure registrate nel maggio 2016.

Centralina 4 Aula 6 - Is Meis								
	Ora	T _{GLOBO} [°C]	T _{ARIA} [°C]	UM %	VEL m/s	T _{OP} [°C]	PMV	PPD
10/05/16	11.30	25,13	24,04	67,39	0,043	24,55	0,4	8,3
	13.00	25,37	24,15	66,82	0,056	24,8	0,5	10,2
	14:30	26,28	25,13	69,6	0,048	25,7	0,8	18,5
	16.00	25,2	24,47	64,66	0,046	24,85	0,5	10,2
11/05/16	09.30	24,57	23,75	67,22	0,033	24,02	0,3	6,9
	16:00	25,25	24,76	63,66	0,021	25,05	0,6	12,5
12/05/16	09.30	22,2	21,75	62,01	0,048	22	-0,3	6,9
	11.30	22,03	21,59	62,33	0,035	21,8	-0,3	6,9
	14.30	22,07	21,56	61,06	0,031	21,85	-0,3	6,9
	16.00	22,03	21,59	61,18	0,043	21,8	-0,3	6,9
13/05/16	09.30	22,79	22,03	66,96	0,051	22,4	-0,1	5,2
	10:30	22,97	22,36	66,32	0,045	22,7	-0,1	5,2
	11:30	22,78	22,25	65	0,048	22,55	-0,1	5,2
16/05/16	9:30	21,9	21,27	64,15	0,051	21,6	-0,4	8,3
	11:30	22,88	22,01	67,37	0,07	22,45	-0,1	5,2
	16:00	23,28	22,67	53,71	0,023	23	-0,1	5,2
17/05/16	09.00	22,48	21,58	62,47	0,046	22,05	-0,3	6,9
	11.30	21,52	21,5	60,69	0,05	21,5	-0,4	8,3
	14:30	21,44	20,96	60,81	0,081	21,2	-0,5	10,2
	16.00	22,54	21,9	57,94	0,033	22,2	-0,3	6,9

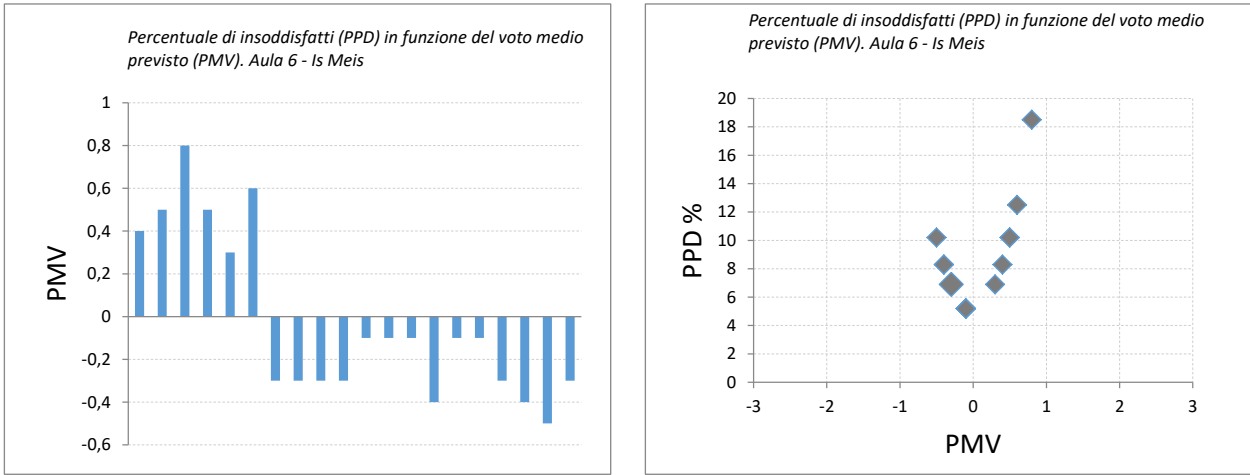


Figura 5.29. Andamento degli indici PPD e PMV relativi al monitoraggio di maggio 2016 aula 6.

Tabella 5.35. Androne: indici PMV e PPD calcolati con le misure registrate nel maggio 2016.

Centralina 5 Androne - Is Meis								
	Ora	T _{GLOBO} [°C]	T _{ARIA} [°C]	UM %	VEL m/s	T _{OP} [°C]	PMV	PPD
17/05/16	12.00	22,5	21,5951	64,0905	0,118333	22,05	-0,3	6,9
	13.00	22,4	21,4564	59,7018	0,188333	21,95	-0,6	12,5
	16.00	22,13	21,2096	45,4987	0,261667	21,56	-0,9	22,1
18/05/16	09.00	21,9055	21,0072	49,3105	0,158333	21,45	-0,7	15,3
	10.30	22,4647	21,6029	53,2259	0,185	22,05	-0,6	12,5
	12:00	22,7425	21,7734	52,681	0,145	22,2	-0,4	8,3
19/05/16	09.00	22,498	21,5358	50,89	0,175	22	-0,6	12,5
	10.30	22,7301	22,015	52,834	0,165	22,35	-0,4	8,3
	12.30	23,3117	22,4062	57,4473	0,161667	22,85	-0,3	6,9
	14.30	23,0489	21,9212	59,5169	0,126667	22,45	-0,3	6,9
	16.30	22,9179	22,0527	56,9505	0,15	22,5	-0,3	6,9
20/05/16	09.30	22,7149	21,8535	51,9089	0,136667	22,3	-0,4	8,3
	10.30	22,7888	21,9336	53,8796	0,176667	23,1	-0,2	5,8
	11:30	23,0168	22,1283	54,987	0,141667	22,55	-0,3	6,9
23/05/16	09.00	24,6276	23,6712	49,6309	0,128333	24,15	0,1	5,2
	10.30	24,6721	23,709	49,5579	0,145	24,2	0,1	5,2
	11.30	24,7473	23,8503	49,1289	0,145	24,3	0,1	5,2

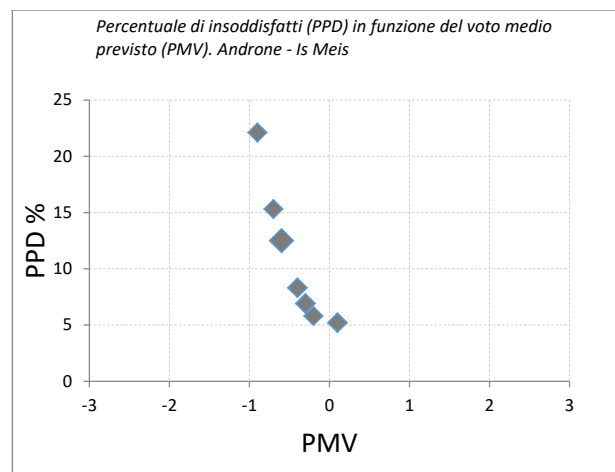
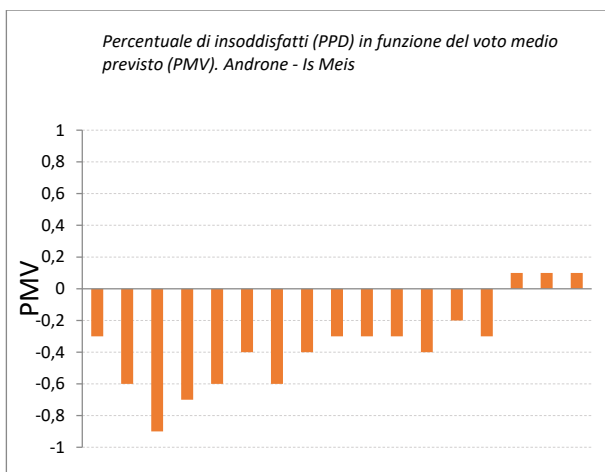


Figura 5.30. Andamento degli indici PPD e PMV relativi al monitoraggio di maggio 2016 androne.

5.3 Esito del monitoraggio

L'indagine è stata condotta nel Comune di Carbonia in due edifici pubblici ad uso scolastico, sedi di due scuole primarie. Gli ambienti oggetto dello studio sono stati 10, di cui 7 aule, una mensa e due androni adibiti a varie attività quali locale mensa e/o palestra informatico. Le rilevazioni sono state svolte nel periodo di marzo-aprile e nel mese di maggio e sono state eseguite sia in ambiente "occupato", durante le lezioni, che in ambiente "vuoto".

La valutazione dei dati è condotta in riferimento ai limiti indicati dal DM 18\12\75 - Norme Tecniche per l'edilizia scolastica:

- Temperatura: 20 ± 2 °C
- Umidità relativa: 45-55%
- Luminosità: 200 lux sul piano dei banchi
- Superficie/alunno: 1.80 m² (per le scuole materne ed elementari)
- Ricambi d'aria: 2.5 (per le scuole materne ed elementari).

Per confronto, i dati misurati sono stati valutati anche in base ai parametri di riferimento dei valori microclimatici, riportati nelle Linee Guida su microclima, areazione ed illuminazione (ISPESL) del 2006 (per le scuole primarie e dell'infanzia).

- Temperatura: 20 ± 2 °C in inverno e 26° C in estate
- Umidità relativa: 35- 45 % in inverno e 50-60% in estate
- Velocità dell'aria: $\leq 0,10$ m/s in inverno e in estate.

Tabella 5.36. Valori microclimatici di riferimento
(fonte: Linee Guida su microclima, areazione ed illuminazione ISPESL -2006)

CATEGORIE DI EDIFICI	inverno			estate		
	t	UR	va	t	UR	va
- Sottogruppi						
• Tipologia dei locali	(°C)	(%)	(m/s)	(°C)	(%)	(m/s)
EDILIZIA SCOLASTICA						
- Aule						
• Asili nido e scuole materne	20 ± 2 (I)	35 + 45	≤ 0,10	26	50 + 60	≤ 0,10
• Scuole elementari	20 ± 2 (I)	35 + 45	≤ 0,10	26	50 + 60	≤ 0,10
• Scuole medie inferiori	20 ± 2 (I)	35 + 45	0,05-0,15	26	50 + 60	0,05-0,20
• Scuole medie superiori	20 ± 2 (I)	35 + 45	0,05-0,15	26	50 + 60	0,05-0,20
• Università	20 ± 2 (I)	35 + 45	0,05-0,15	26	50 + 60	0,05-0,20
- Altri locali						
• Laboratori *	20 ± 2 (I)	35 + 45	0,05-0,15	26	50 + 60	0,05-0,20
• Palestre	20 ± 2 (I)	35 + 45	0,05-0,15	26	50 + 60	0,05-0,20
• Refettori	20 ± 2 (I)	35 + 45	0,05-0,15	26	50 + 60	0,05-0,20
• Biblioteche, sale lettura	20 ± 2 (I)	35 + 45	0,05-0,15	26	50 + 60	0,05-0,20
• Sale insegnanti	20 ± 2 (I)	35 + 45	0,05-0,15	26	50 + 60	0,05-0,20
• Ambienti di passaggio	20 ± 2 (I)	35 + 45	0,05-0,15	26	50 + 60	0,05-0,20
• Servizi igienici	20 ± 2 (I)	35 + 45	0,05-0,15	26	50 + 60	0,05-0,20

Per la concentrazione di CO₂, si è fatto riferimento alla normativa DIN-1946-2 che considera 1000 ppm il valore limite per avere un ambiente ottimale e prevede come soglia limite 1500 ppm.

Per l'illuminazione, sono stati presi in considerazione anche i parametri della norma UNI EN 12464-1 che prevede un illuminamento medio di 300 lux per le aule scolastiche.

In entrambi gli edifici scolastici l'affollamento è basso e lo spazio a disposizione per ciascun alunno è di gran lunga superiore al valore 1,8 m²/alunno previsti dal DM 18\12\75, per cui i locali sono definibili come "non affollati".

Anche la superficie finestrata presente in ogni locale è adeguata, anche in questo caso superiore al valore di 1/8. Ciononostante, come si può riscontrare dai valori misurati, in quasi tutti i locali l'illuminazione è stata rilevata evidentemente disomogenea: nella maggior parte dei locali di entrambi gli edifici sono emersi valori d'illuminamento elevati in prossimità della finestra che decrescono notevolmente dirigendosi verso il lato opposto.

Nel primo edificio oggetto di studio, la scuola primaria "Is Gannaus", la temperatura rientra nei limiti accettabili, con valori leggermente superiori a quelli di riferimento: nelle aule la temperatura media radiante è stata registrata mediamente pari a valori di circa 24° C. Nell'edificio "Is Meis", invece i valori registrati rientrano pienamente nell'intervallo di riferimento ($20 \pm 2^\circ \text{C}$), tranne che per le aule 2 e 4, in cui la temperatura media radiante è stata leggermente superiore, con punte di 25 °C.

L'umidità relativa, nella scuola primaria "Is Gannaus", rientra nei limiti previsti dal DM 18/12/75, sia quella rilevata dalla centralina sia quella emersa dalle misure effettuate con lo strumento portatile. Se si prendono in riferimento i parametri previsti dalle Linee Guida ISPESL, però, le aule presentano valori leggermente superiori agli standard di riferimento (considerando gli standard invernali, visto il periodo di campionamento). L'intervallo 35-45% viene superato sia nell'aula 4 (si arriva al 65%) che nella 2 (si raggiunge il 55%). I valori misurati nell'edificio "Is Meis", di contro, sono al limite o superiori a quanto previsto dalla normativa, con medie di circa 50% e punte fino a oltre il 60%.

In tutti entrambi gli edifici scolastici analizzati, i valori della velocità assoluta dell'aria sono inferiori ai 0,10 m/s previsti come standard di riferimento.

Un punto molto importante da sottolineare per quanto riguarda la salubrità dell'aria è quello sulla presenza di anidride carbonica in concentrazioni elevate. Quando molte persone condividono uno stesso spazio, l'aria può diventare presto pesante. La colpa è spesso attribuibile all'anidride carbonica espirata (CO_2). L'anidride carbonica è tossica per l'uomo ad una concentrazione del 2,5%, ma già a partire da una concentrazione dello 0,08% (800 ppm) di anidride carbonica sono compromessi le prestazioni, la concentrazione e il benessere. Considerando questi dati, è importante evidenziare che in tutti i locali in cui è stata eseguita la misurazione della concentrazione di CO_2 , questa è risultata ben oltre i 1500 ppm, evidenziando la mancanza in entrambi gli edifici di un sistema di circolazione forzata dell'aria o di ricambi sussidiari adeguati.

I dati dell'illuminamento sono relativi a misurazioni effettuate in giornate con luce primaverile, nelle quali l'illuminazione naturale era da considerarsi di buon grado. È emerso, comunque, che i valori di luminosità naturale sono spesso inferiori ai 200 lux previsti (sul piano dei banchi) dal DM 18/12/75. In tutte le aule, è stato riscontrato che in prossimità delle finestre la luce rispetta gli standard stabiliti o addirittura li supera, allontanandoci dalla finestra la luce diventa gradualmente insufficiente.

I valori di PMV e PPD rientrano, in tutti e due gli edifici scolastici, nell'intervallo di "ambienti termicamente accettabili". La percentuale di insoddisfatti è normalmente inferiore al 20%.

In particolare, per quanto attiene la scuola di Is Gannaus si specifica quanto segue:

- I risultati dei rilievi strumentali nell'ambiente oggetto di studio (Aula 1), con l'impianto di climatizzazione spento, forniscono valori dell'indice PMV che ricadono, dal 18 al 20 maggio, nell'intervallo di "benessere termico" $-0,5 < \text{PMV} < +0,5$ suggerito dalla normativa. Nel periodo considerato si evidenziano valori di PPD non superiori al 10,2 %. Pertanto l'ambiente termico risulta essere accettabile. Per quanto riguarda invece la mattina del 23/05/16, quella più calda, si trovano dei valori di $\text{PMV} = 0,8$ e $\text{PPD} = 18,5\%$, dovuti probabilmente all'incremento della temperatura ambiente. In questa giornata, la percentuale degli insoddisfatti aumenta rispetto ai giorni precedenti, fino al 26,1 %; e l'aula, in queste condizioni, non garantisce più una situazione di comfort.
- I rilievi effettuati nell'Aula 2, evidenziano valori di PMV sempre compresi nell'intervallo di benessere termico e di PPD inferiori al 10%. Per quanto già citato, sono garantite all'interno dell'aula le condizioni di comfort ambientale. Le considerazioni appena esposte, possono essere estese anche all'aula 4 e all'androne.

Inoltre, per quanto concerne la scuola di Is Meis:

- All'interno dell'aula 2 i valori di comfort peggiori sono stati registrati nella prima giornata di monitoraggio con PMV massimo di 0,8 a cui corrisponde una percentuale di insoddisfatti del 18,5 %. Nelle giornate successive, i valori del voto medio previsto sono quasi sempre rientrati nell'intervallo di benessere termico $+0,5 < \text{PMV} < -0,5$, evidenziando una PPD inferiore al 10 %. Complessivamente, si osserva che le condizioni di comfort termico all'interno di questo ambiente sono garantite.
- I rilievi effettuati nell'Aula 3, mostrano valori di PMV sempre compresi nell'intervallo di benessere termico e di PPD inferiori al 10 %. Pertanto, anche all'interno di questo ambiente sono garantite le

condizioni di comfort ambientale. Fa eccezione la giornata di mercoledì 18 maggio, in cui gli indici PMV e PPD assumono valori di poco superiori a quelli raccomandati, con una percentuale di insoddisfatti pari a 12,5 % alle ore 09:30 e del 10,2 % per il resto della giornata.

- L'aula 4 può essere considerata un ambiente termicamente confortevole.
- All'interno dell'aula 6 i valori di comfort peggiori sono stati registrati nella prima giornata di monitoraggio con PMV massimo di 0,8 a cui corrisponde una percentuale di insoddisfatti del 18,5 %. Successivamente e per tutto l'intervallo temporale rimanente preso ad esame, i dati relativi al voto medio, si sono attestati su valori tali da garantire le condizioni di confort termico, ad esclusione, come già discusso, del giorno primo di monitoraggio.

6 Analisi di un edificio pubblico ad uso uffici

Il Centro Ricerche Sotacarbo - CRS è situato a Carbonia, nel sud-ovest della Sardegna, all'interno della area denominata Grande Miniera di Serbariu.

Gli edifici afferenti al CRS occupano una superficie utile coperta pari a circa 1800 metri quadrati suddivisa tra laboratori, uffici, archivi e servizi tecnologici, e sono inseriti all'interno di un'area attrezzata aperta di circa 10000 metri quadri che comprende un'area denominata Piattaforma Pilota, ospitante gli impianti sperimentali, l'area verde e i parcheggi.

L'edificio principale è una costruzione del periodo anteguerra, risalente alla fine degli anni '30, di cui riporta fortemente le caratteristiche costruttive. Esso fa parte di una serie di fabbriche dalle robuste ossature in cemento armato che all'epoca furono realizzate per sostenere la produzione della miniera di carbone di Serbariu, chiusa poi a metà degli anni '60. In particolare vennero realizzate una centrale elettrica, gli uffici, le officine, la lampisteria e la laveria, nonché i vari servizi annessi, tra cui l'infermeria, i magazzini. L'edificio oggetto di questo studio fu allora costruito come "Magazzino materiali".

Nell'ultimo decennio l'area complessiva, ormai preda di un totale abbandono, è stata oggetto di un ripristino urbanistico da parte del Comune di Carbonia, che ha destinato i vari edifici a musei, uffici, e centri di cultura. I vari interventi hanno previsto però solo in maniera marginale azioni di efficientamento energetico.

6.1 Il Centro Ricerche Sotacarbo

6.1.1 L'intervento di ripristino urbanistico

Il Centro Ricerche Sotacarbo fa parte del complesso di edifici della Grande Miniera di Serbariu e la sua costruzione risale agli anni 1938-39. Nel 2002 l'edificio ha subito un intervento di ristrutturazione importante, realizzato per permettere il riuso dello stabile destinandolo ad ospitare uffici e laboratori. Il CRS è ospitato all'interno dell'ex Magazzino materiali ed è considerato un edificio identitario e soggetto pertanto a vincoli definiti dalla Soprintendenza. L'edificio è racchiuso in un'area individuata dal P.R.G. del Comune di Carbonia come zona "S" di circa 13.360 mq. Il Magazzino materiali si distingueva dagli altri edifici interni al complesso della Miniera per il prospetto principale in cui la pietra (trachite) è stata mantenuta faccia a vista e nei prospetti laterali è stata usata nella zoccolatura sempre a vista e nelle scansioni tra un finestra e l'altra. Il prospetto principale era dotato di grande portale in ferro che immetteva in un largo corridoio collegato in passato a una corte interna. Il prospetto principale della corte interna in cui si trovava l'uscita è tutto in muratura di trachite faccia a vista mentre i due laterali con sola zoccolatura in trachite.

Il progetto ha previsto di ripristinare il manufatto mantenendo il più possibile le caratteristiche originarie dell'edificio, abbattendo i corpi di fabbrica costruiti negli anni '50, come la copertura della corte centrale ed i locali nella parte posteriore del fabbricato (esposti a sud). Alla struttura dei vecchi magazzini è stata annessa una nuova costruzione dedicata all'officina meccanica realizzata in calcestruzzo armato prefabbricato intonacata come gli edifici esistenti, collegata alla struttura principale da un cunicolo che immette nell'ala destra adibita a laboratori.



Foto 6.1. Facciata principale dell'ex Magazzino materiali prima dell'intervento di ripristino



Foto 6.2. Interno della struttura prima dell'intervento di ripristino

La struttura portante del corpo di fabbrica è rimasta l'originale degli anni '30 ed è costituita da pareti portanti in pietra naturale; la muratura perimetrale esterna è stata risanata con intonaco strutturale isolante, mentre la muratura portante interna è stata intonacata con calce e gesso. Le aggiunte ex novo che riguardano il corpo a sud che sovrasta il locale interrato e il corpo centrale dell'auditorium sono in muratura a doppia parete con isolamento interno in polistirene estruso.



Foto 6.3. Ex Magazzino dei materiali dopo l'intervento di ripristino per il riuso

La copertura è stata realizzata di tipo a capanna, più abbaini, con tegole marsigliesi; le capriate sono state risanate e riutilizzate, e la copertura completata con pannelli in laterocemento con controsoffitto in pannelli di cartongesso. Antecedentemente alla ristrutturazione, l'edificio aveva le coperture completamente decadute e si mantenevano in alcuni casi intatte solamente le strutture portanti composte da capriate in calcestruzzo armato. Il solaio di base è costituito da un vespaio debolmente areato, isolato con polistirene, mentre i solai di copertura dei due corpi paralleli di apertura e chiusura della struttura hanno una tettoia piana realizzata in laterocemento con travetti prefabbricati e pignatte laterizie.

All'interno della corte centrale è presente una nuova costruzione adibita a sala conferenze completamente indipendente da laboratori e uffici. La copertura di tale area è realizzata con una struttura in travi principali e orditura secondaria, in legno lamellare, completa di tavolato in legno di abete rosso, coibentata e finita con tegole di rame.

Relativamente alle superfici trasparenti, l'edificio principale e l'annessa officina meccanica presentano esclusivamente vetri singoli. La superficie totale finestrata dell'edificio principale è pari a circa 135 mq, composta sia da finestre apribili solo parzialmente a vasistas, che da vetrate fisse; quella dell'officina meccanica è di circa 50 mq. Gli infissi esterni finestrati sono in parte in legno e in parte in acciaio: si tratta in entrambi i casi di infissi di vecchia generazione. Tutti i locali ad uso continuativo sono dotati di adeguata superficie finestrata.



Foto 6.4. Superfici vetrate e portone

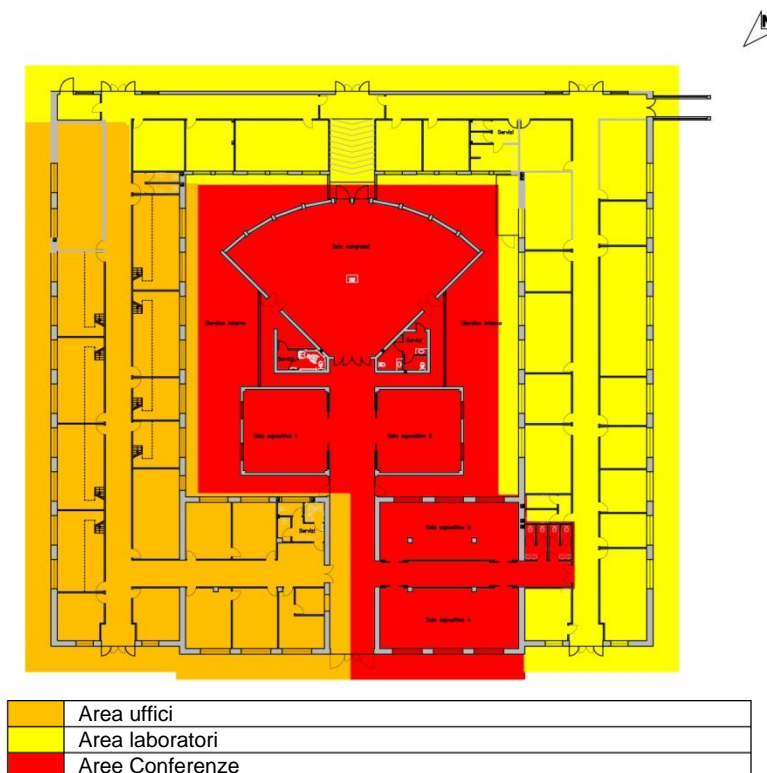
Gli infissi di accesso principali (portoni) dell'edificio principale sono in vetro e acciaio con lamiera singola zincata per una superficie totale di circa 80 mq, mentre l'officina è dotata di portone con ante a libro realizzate con telaio interno perimetrale in profilo d'acciaio zincato e rivestito nelle due facce da lamiera pre-verniciata.

6.1.2 Il riuso della struttura

Sulla base della destinazione d'uso dei vari ambienti, l'area del Centro Ricerche Sotacarbo può essere suddivisa in tre blocchi principali:

- un primo blocco costituito dall'edificio principale, su cui è stato eseguito l'intervento di ristrutturazione ed è oggetto del presente studio, con locali adibiti a uffici, laboratori, archivio e sale riunioni e conferenze (vedi Figura 6.5);
- un secondo blocco costituito dal locale di nuova costruzione, adibito ad officina meccanica,
- un terzo blocco che comprende le aree aperte, quali l'area della Piattaforma Pilota, che alloggia gli impianti sperimentali ed i services ad essa collegati, i parcheggi e le aree di accesso e verdi.

Figura 6.5. Usi funzionali della struttura principale



L'edificio storico ha una superficie utile di 1430 mq. Nell'ala esposta a NE sono collocati gli uffici e nell'ala a SE/SO i laboratori, mentre una parte del corpo centrale preesistente insieme alla nuova struttura occupante la ex corte interna ospitano l'area conferenze.

L'ala destinata agli uffici è articolata in singoli locali collegati tra loro da un corridoio interno. La maggior parte degli ambienti è a doppia altezza, ricavata attraverso soppalchi in acciaio che coprono i 2/3 della superficie, posti ad un'altezza di 2,5 m c.a. dalla quota pavimento e raggiungibili con scale interne a L in ferro parallele alla muratura del corridoio interno.

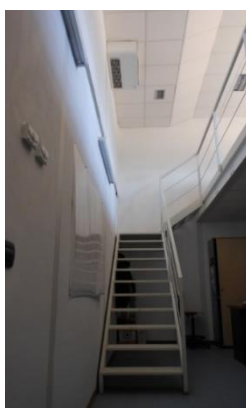


Foto 6.6. Interno degli uffici: accesso al soppalco

La zona laboratori è suddivisa in locali mediante pareti modulari mobili (locale-locale) o tramezzi in muratura tradizionale (locale-corridoio).

Nella corte interna è stato realizzato ex novo un Auditorium da 100 posti con i relativi servizi, e due sale espositive caratterizzate da ampie aperture finestrate che mostrano una piccola area verde in cui sono inserite. In Allegato 1 è riportata una planimetria con l'identificazione dei diversi ambienti.

La parte con maggior utilizzo da parte del personale è quella che ospita gli uffici ed è costituita da 17 ambienti.

L'illuminazione degli ambienti avviene attraverso lampade a fluorescenza di dimensione e potenze differenti.

L'edificio è fornito di un sistema di condizionamento dell'aria, del tipo ad unità centrale, alloggiata all'esterno dell'edificio, con ventilconvettori ubicati ciascun locale destinato ad ufficio o laboratorio, in aderenza all'intradosso del controsoffitto, ad un'altezza di c.a. 5,15 m dalla quota pavimento.

6.2 Fase di monitoraggio

Nelle aree di maggiore utilizzo si è proceduto ad effettuare il monitoraggio dei parametri microclimatici. Come per gli edifici scolastici, anche per il CRS sono state utilizzate sia le centraline microclimatiche "Grillo MMTS", sia i sensori di umidità e temperatura della Gemini Datalogger "Tinytag".

Lo studio dei parametri di comfort ambientale è avvenuto nei mesi di Maggio – Luglio. Lo schema riportato in tabella 6.1 e in tabella 6.2 specifica l'ubicazione della centralina relativa all'arco temporale preso in esame, mentre quello riportato in tabella 6.3 definisce gli ambienti in cui sono stati disposti i sensori Tinytag. In particolare, per ciascuno apparecchio è indicato:

- il periodo temporale del monitoraggio;
- l'ufficio o laboratorio (tenendo conto della numerazione dei locali riportata nella planimetria precedente)
- il posizionamento: soppalco o piano terra (solo nell'ala uffici per le stanze con soppalco);
- il numero di persone presenti;
- l'orario di avvio e di chiusura del monitoraggio.

Le misure sono state effettuate nelle reali condizioni operative degli ambienti, posizionando le centraline microclimatiche ad un'altezza di circa 1,1 metri dal suolo (livello testa) in prossimità delle postazioni di lavoro, e i sensori di temperatura e umidità, in questo caso utilizzati per la verifica del comfort locale termico, a tre differenti altezze dal pavimento (10 cm, 60 cm, 100 cm). Il calcolo degli indici di comfort termico è stato effettuato assumendo un valore di resistenza termica all'abbigliamento pari a 0,5 clo e un valore di dispendio energetico pari a 1,2 met.

Si riportano in Allegato 3 i grafici relativi alle misurazioni dei parametri microclimatici.

Di seguito, si evidenziano le grafiche attinenti agli indici di confort termico PMV e PPD e l'andamento delle variabili misurate con i Tinytag.

Tabella 6.1. Posizionamento centraline C1,C2

Centraline Microclima indoor						
Settimana lavorativa	C1	C2	START/STOP INSTALLAZIONE CENTRALINE			
24 Mag - 30 Mag	Uff. 8 p.terra (3 persone)	Uff. 6 p.terra (3 persone)	START	h. 09:30	STOP	h. 11:00
30 Mag - 3 Giu	Uff. 9 p.terra (3 persone)	Uff. 5 p.terra (3 persone)	START	h. 11:00	STOP	h. 08.20
6 Giu -10 Giu	Uff. 8 p.terra (3 persone)	Uff. 4 p.terra (3 persone)	START	h. 08.30	STOP	h. 10:30
13 Giu -20 Giu	Uff. 9 sop. (2 persone)	Uff. 5 terra (3 persone)	START	h. 10:43	STOP	h. 11.30
20 Giu -28 Giu	Uff. 16 (1 persona)	Uff. 14 (1 persona)	START	h 11:50	STOP	h. 08:00
28 Giu -04 Lug	Aula 2	Uff. 12 Sala calcolo	START	h. 08:15	STOP	h. 08:00
04 Lug -11 Lug	Uff. 5 p.terra (3 persone)	Uff. 6 sop. (2 persone)	START	h. 09:00		
11 Lug - 18 Lug	Uff. 5 p.terra (3 persone)	Uff. 6 sop. (2 persone)			STOP	h. 11:03
18 Lug - 25 Lug	Uff. 4 p.terra (3 persone)	Uff. 9 p.terra (3 persone)	START	h. 11:07	STOP	h. 08:40
25 Lug - 31 Lug	Uff. 14 (2 persone)	Uff.11 (1 persona)	START	h. 11:07		

Tabella 6.2. Posizionamento centraline C3, C4, C5.

Centraline Microclima indoor							
Settimana lavorativa	C3	C4	C5	START/STOP INSTALLAZIONE CENTRALINE			
24 Mag - 30 Mag	Uff. 6 sop. (2 persone)	Uff. 14 (1 persona)	Uff. 8 sop. (2 persone)	START	h. 09:30	STOP	h. 11:00
30 Mag - 3 Giu	Uff. 5 sop. (2 persone)	Uff. 11 (1 persona)	Uff. 9 sop. (2 persone)	START	h. 11:00	STOP	h. 08.20
6 Giu -10 Giu	Uff. 4 sop. (2 persone)	Uff. 10 (1 persona)	Uff. 8 sop. (2 persone)	START	h. 08.30	STOP	h. 10:30
13 Giu -20 Giu	Uff. 5 sop. (2 persone)	Uff. 9 p.terra (3 persone)	Uff. 8 sop. (2 persone)	START	h. 10:43	STOP	h. 11.30
20 Giu -28 Giu	Uff. 15 (2 persone)	uff.10 (1 persona)	Lab 2	START	h. 11:50	STOP	h. 08:00
28 Giu -04 Lug	Aula 3	Auditorium lato destro	Auditorium lato sinistro	START	h. 08.15	STOP	h. 08:00
04 Lug -11 Lug	Uff. 5 sop. (2 persone)	LAB 16 (1 persona)	Uff. 6 p.terra (2 persone)	START	h. 9.00		
11 Lug - 18 Lug	Uff. 5 sop. (2 persone)	LAB 16 (2 persone)	Uff. 6 p.terra (2 persone)			STOP	h. 11:03
18 Lug - 25 Lug	Uff. 4 sop. (2 persone)	LAB 16 (2 persone)	Uff. 9 sop. (2 persone)	START	h. 11:07	STOP	h. 08:40
25 Lug - 31 Lug	Uff. 15 (2 persone)	Uff. Lab 14 (1 persona)	Uff. 10 (1 persona)	START	h. 11:07		

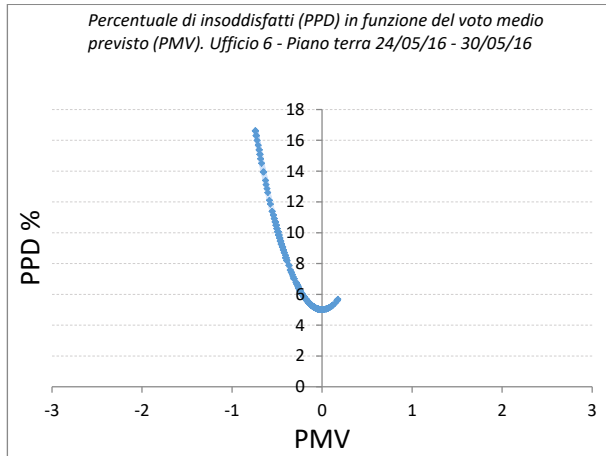
Tabella 6.3. Posizionamento sensori tinytag.

Sensori Tinytag	
Settimana lavorativa	Sensori Ti e Urel (10 cm, 60 cm, 1 m)
24 Mag - 30 Mag	Uff. Lab 14 (1 persona)
30 Mag - 3 Giu	Uff. 11 (1 persona)
6 Giu -10 Giu	Uffi. 8 sop. (2 persone)
13 Giu -20 Giu	Uff. 8 p.terra (3 persone)
20 Giu -28 Giu	Uff. 5 sop. (2 persone)
28 Giu -04 Lug	Uff. 5 terra. (3 persone)
04 Lug -11 Lug	Uff.15 (2 persone)
11 Lug - 18 Lug	Uff. 14 (2)
18 Lug - 25 Lug	Uff. 4 p.terra. (3 persone)
25 Lug - 31 Lug	Uff. 10 (1 persona)

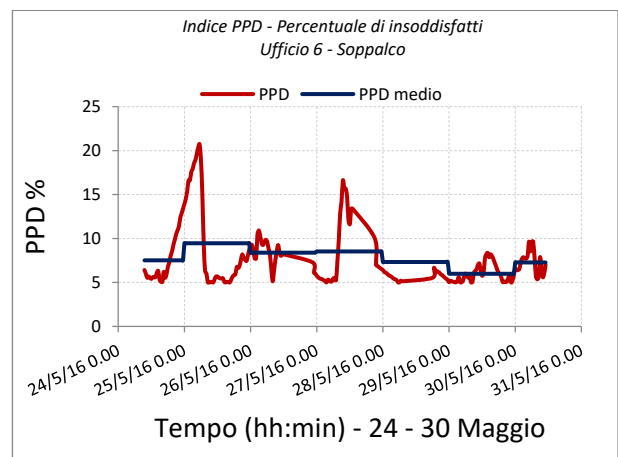
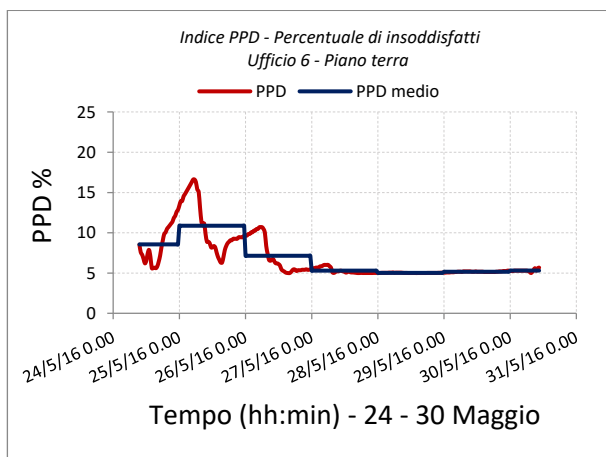
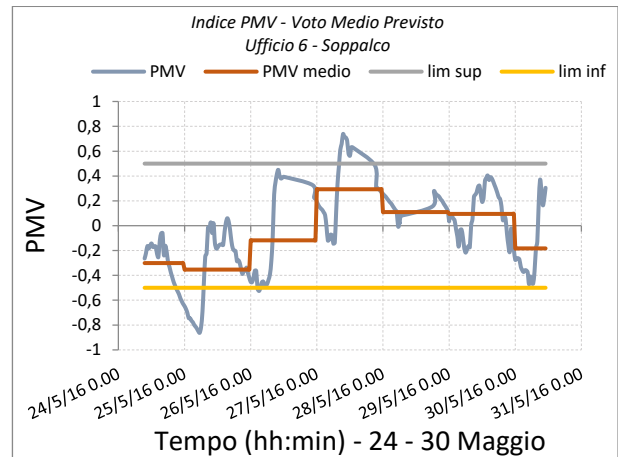
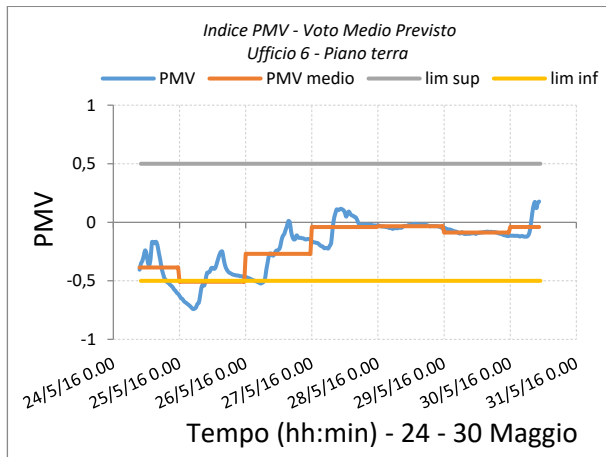
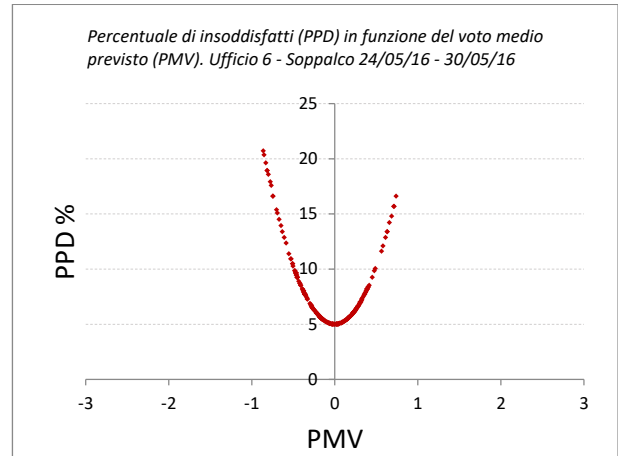
Indici di comfort termico - Periodo 24 – 30 Maggio

a) Ufficio 6

Ufficio 6 – Piano terra

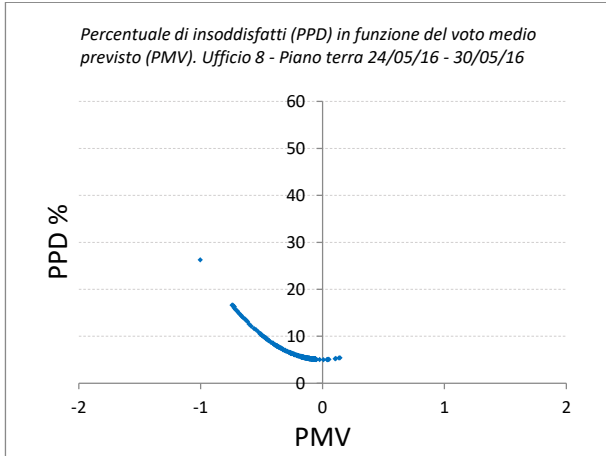


Ufficio 6 – Soppalco

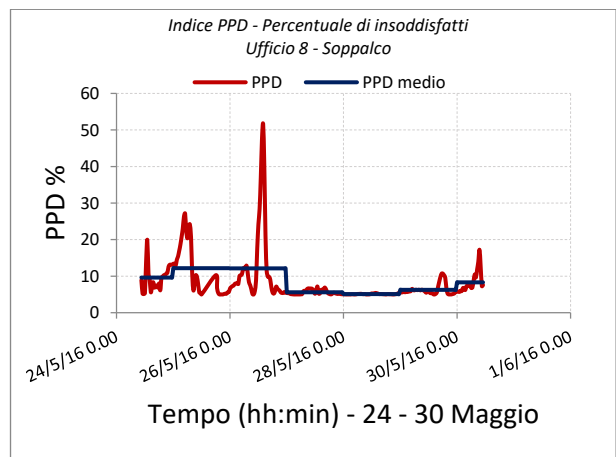
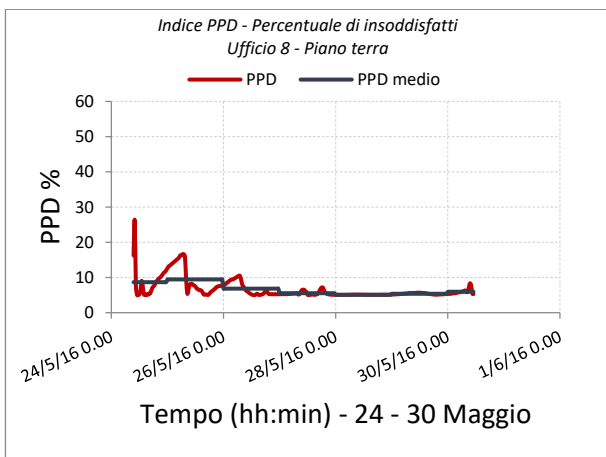
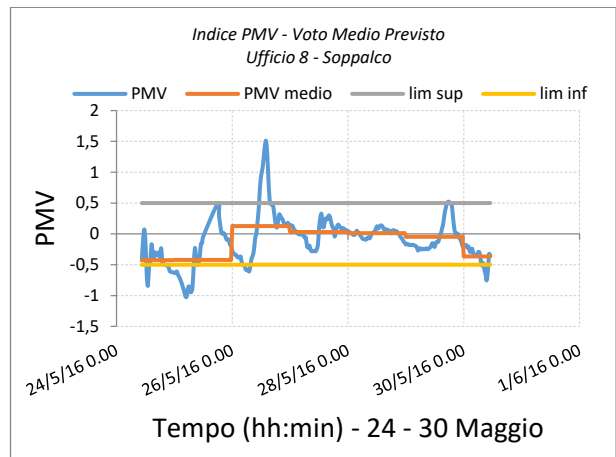
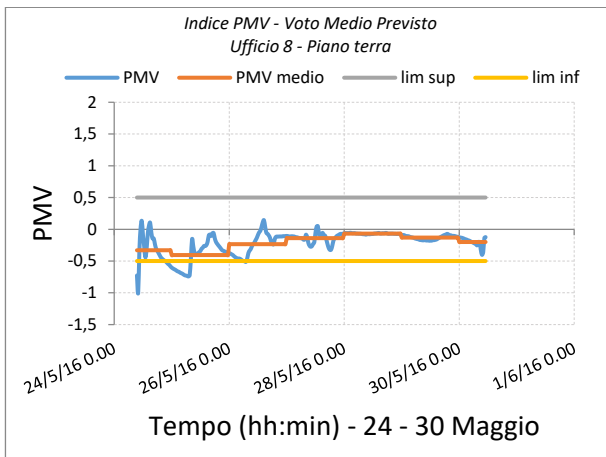
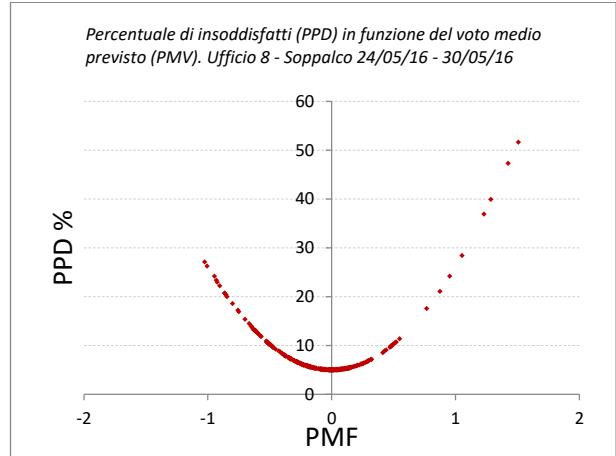


b) Ufficio 8

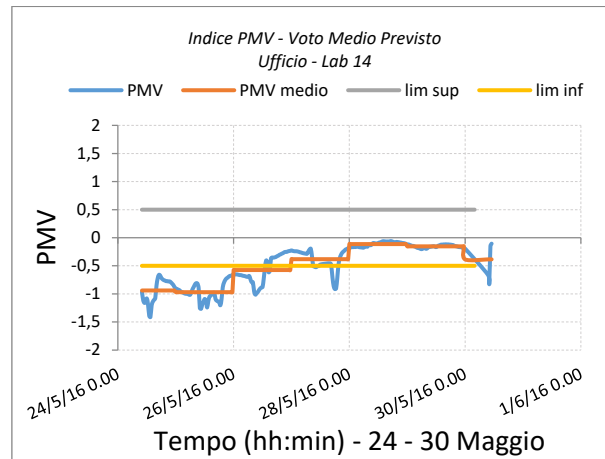
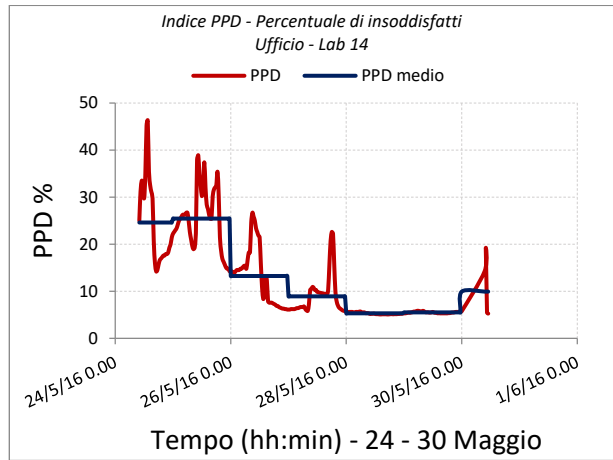
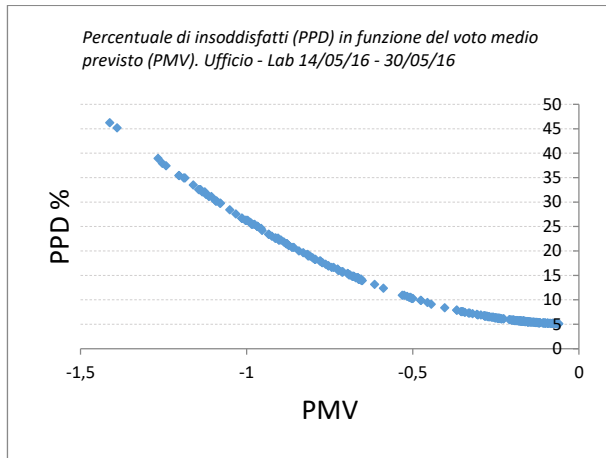
Ufficio 8 – Piano terra



Ufficio 8 – Soppalco



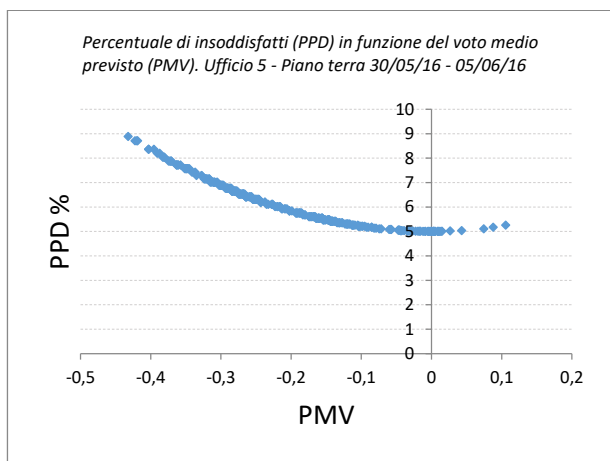
c) Ufficio – LAB 14



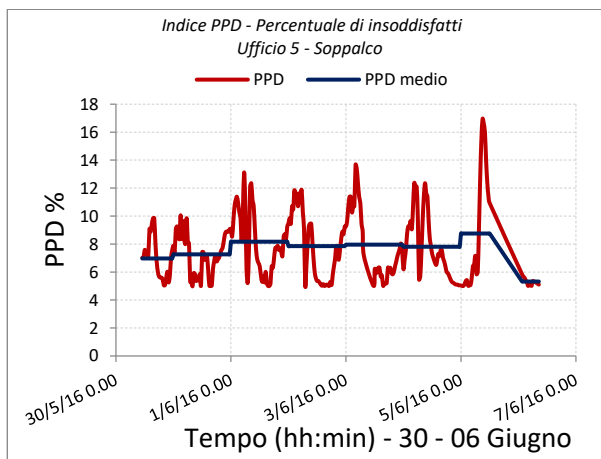
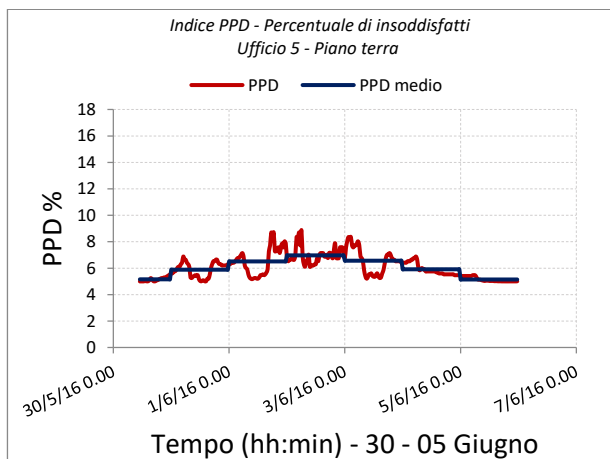
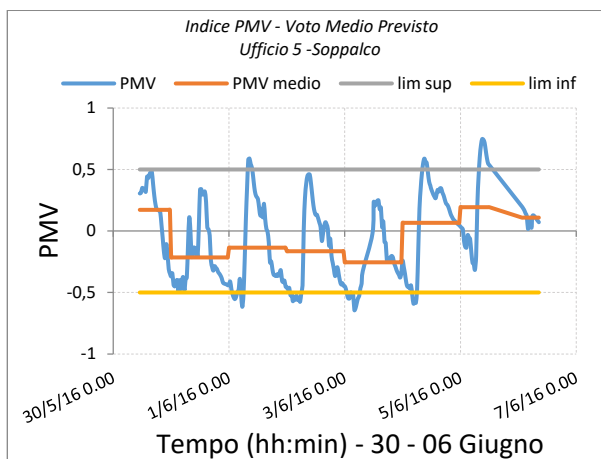
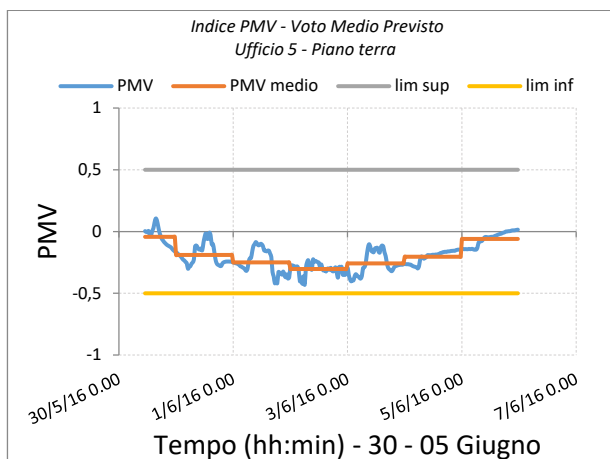
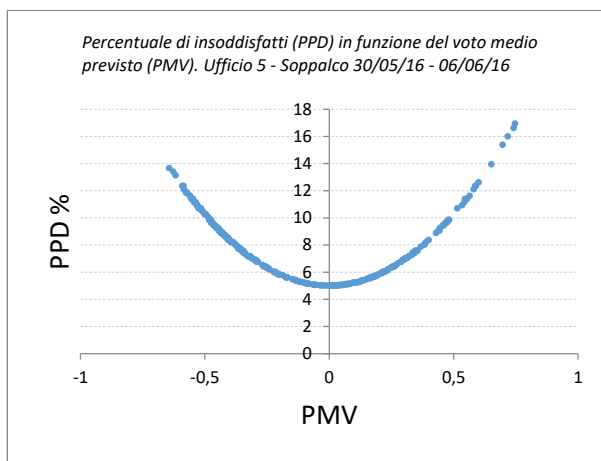
Indici di comfort termico - Periodo 30 Maggio – 06 Giugno

a) Ufficio 5

Ufficio 5 – Piano terra

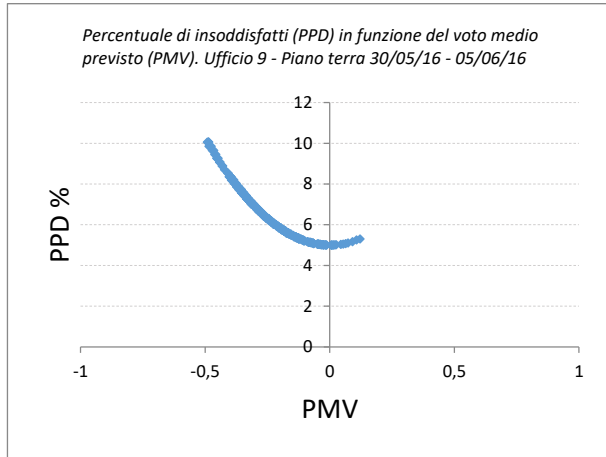


Ufficio 5 – Soppalco

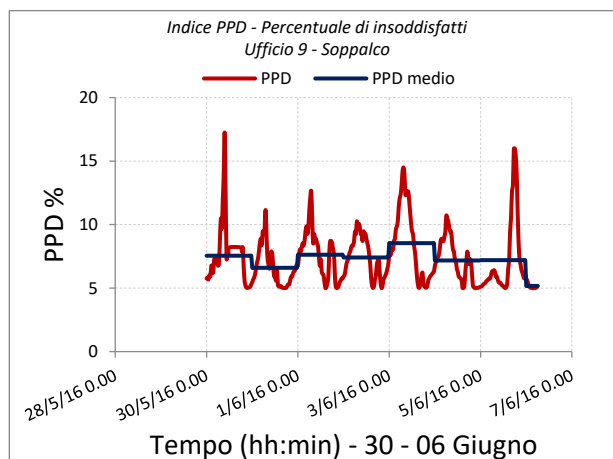
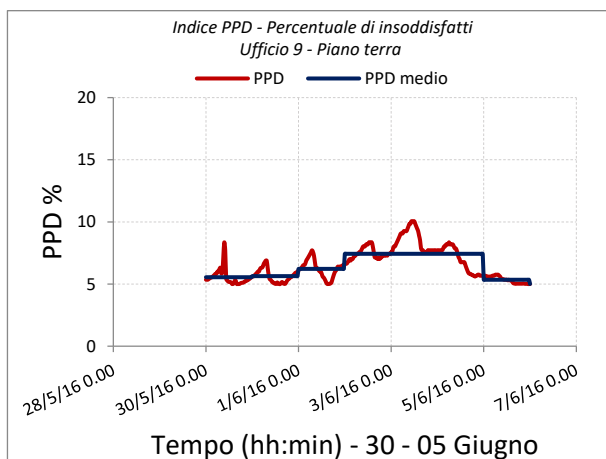
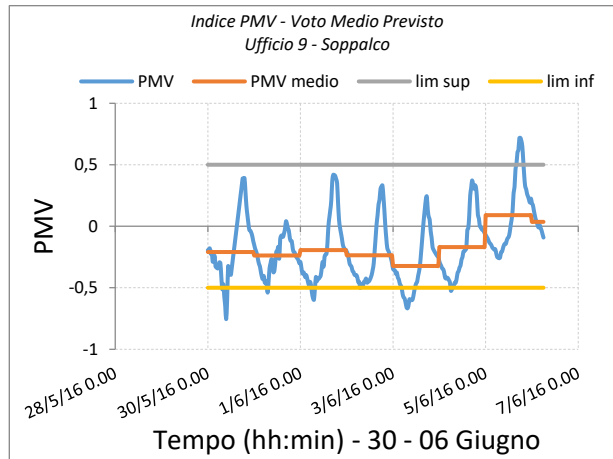
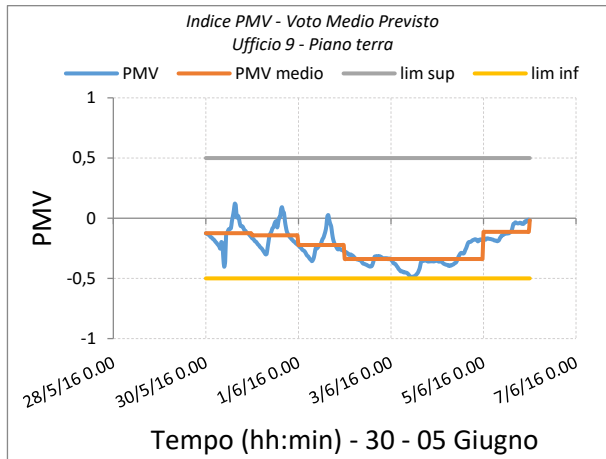
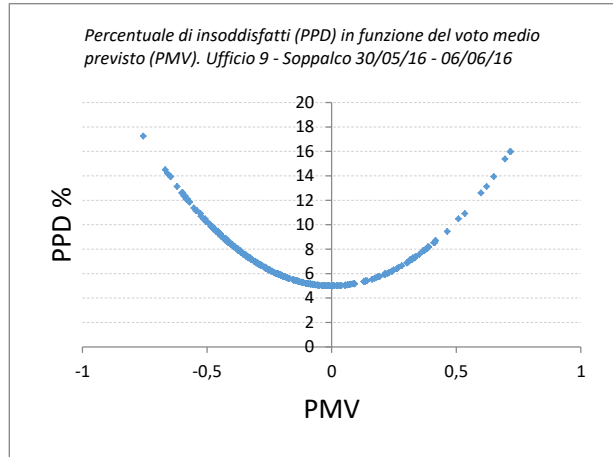


b) Ufficio 9

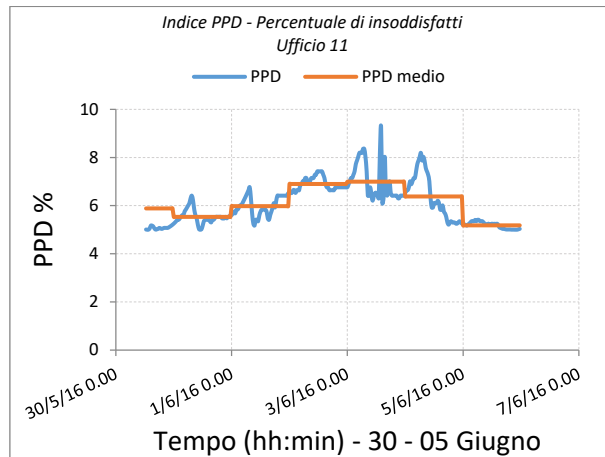
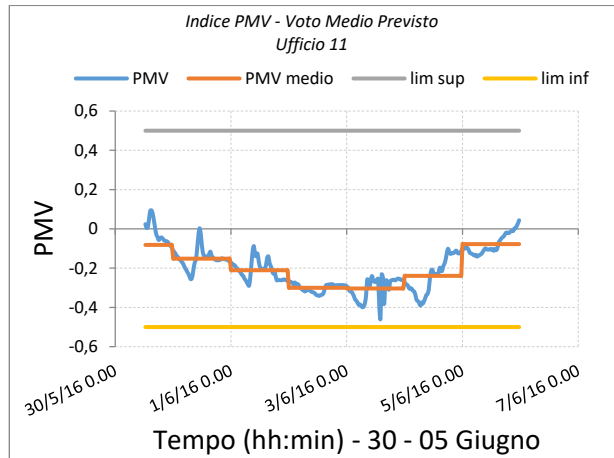
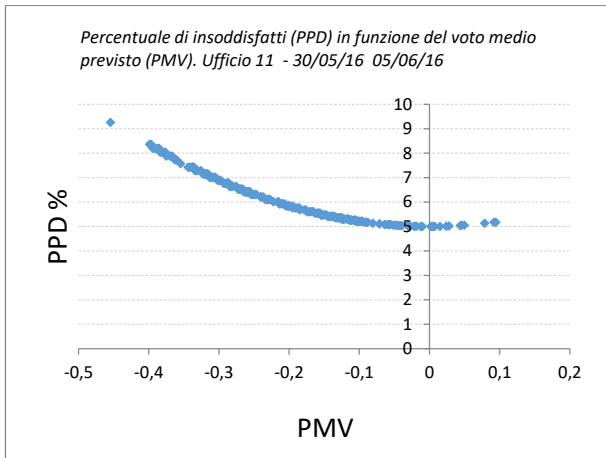
Ufficio 9 – Piano terra



Ufficio 9 – Soppalco



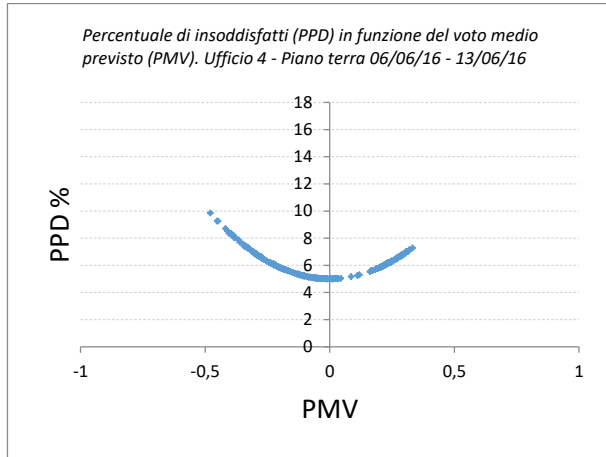
c) Ufficio 11



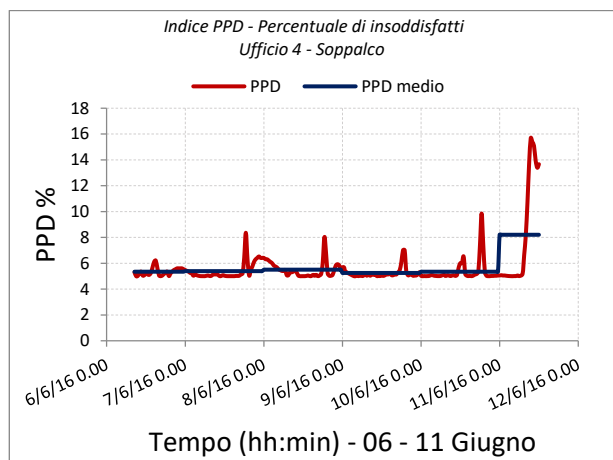
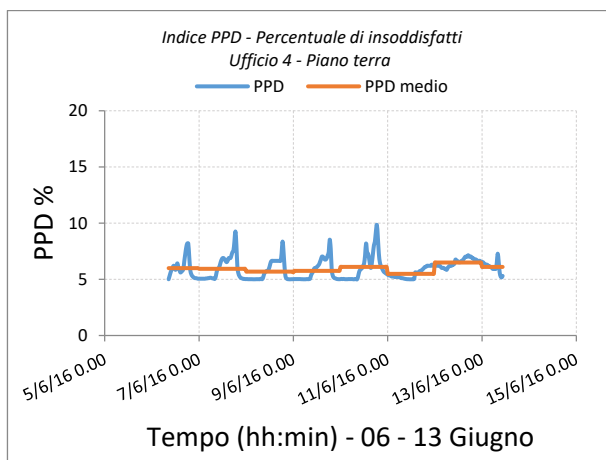
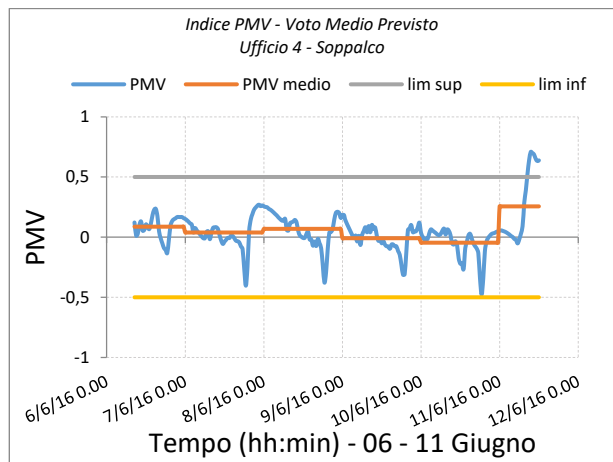
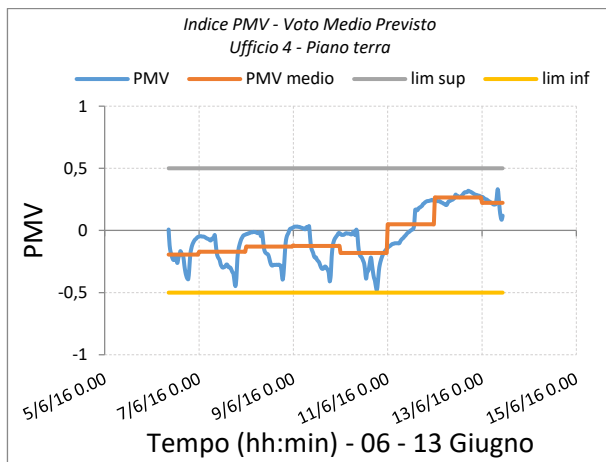
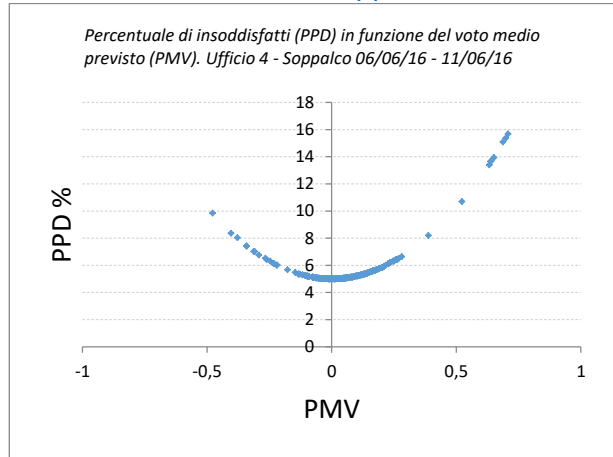
Indici di comfort termico - Periodo 06 – 13 Giugno

a) Ufficio 4

Ufficio 4 – Piano terra

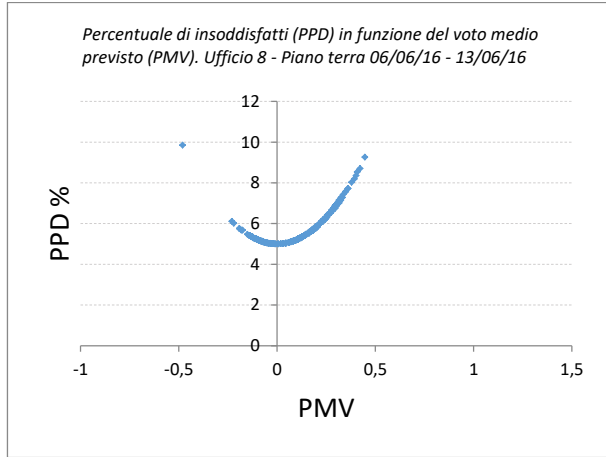


Ufficio 4 – Soppalco

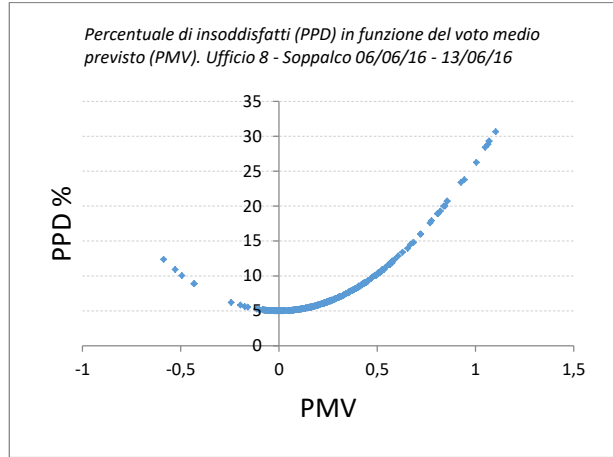


b) Ufficio 8

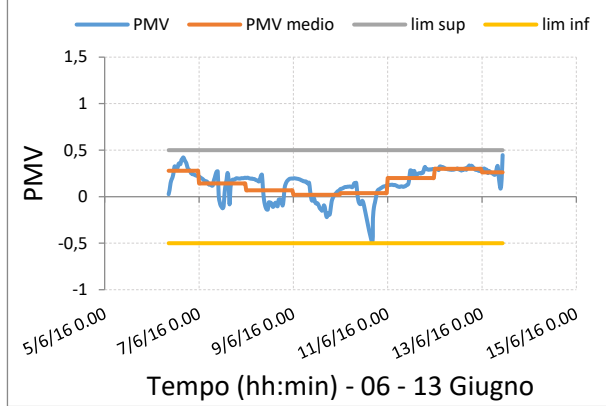
Ufficio 8 – Piano terra



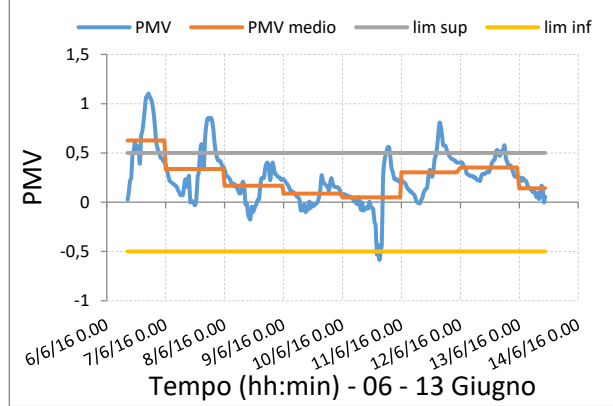
Ufficio 8 – Soppalco



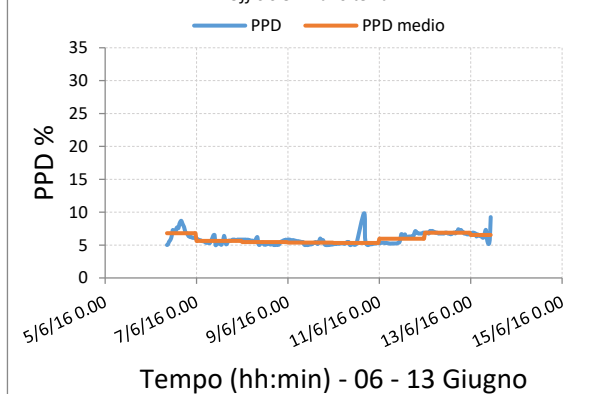
Indice PMV - Voto Medio Previsto
Ufficio 8 - Piano terra



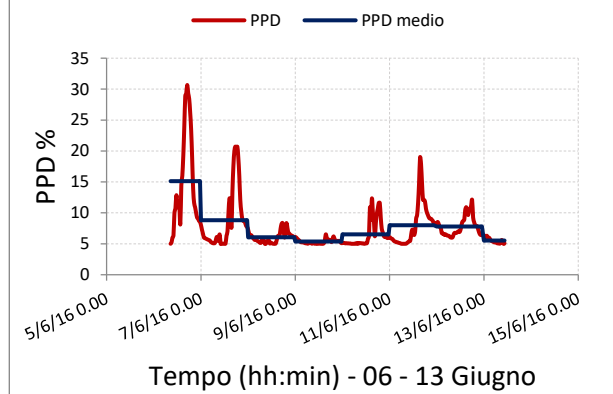
Indice PMV - Voto Medio Previsto
Ufficio 8 - Soppalco



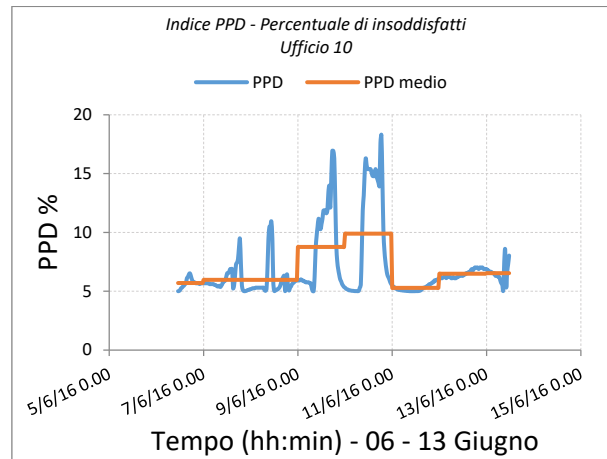
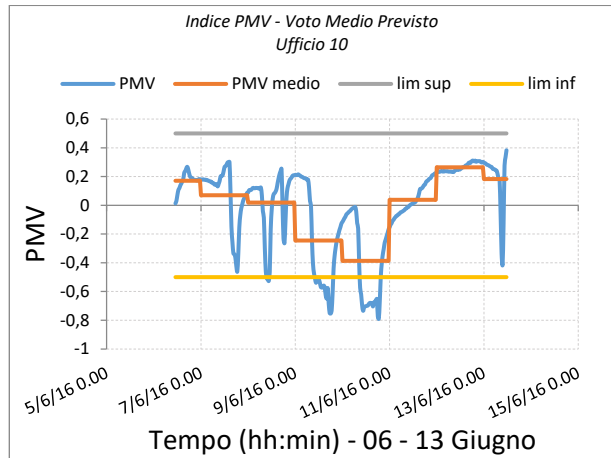
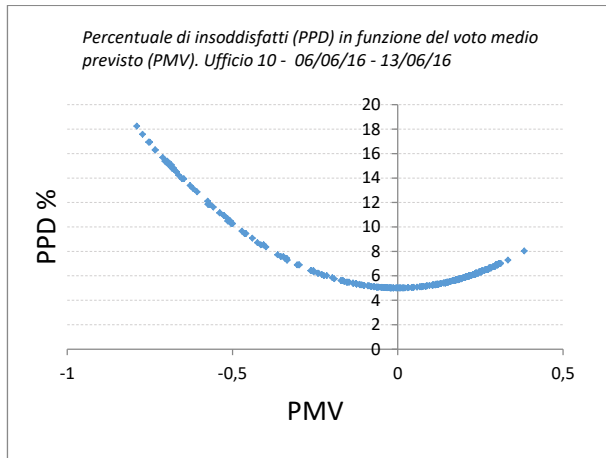
Indice PPD - Percentuale di insoddisfatti
Ufficio 8 - Piano terra



Indice PPD - Percentuale di insoddisfatti
Ufficio 8 - Soppalco



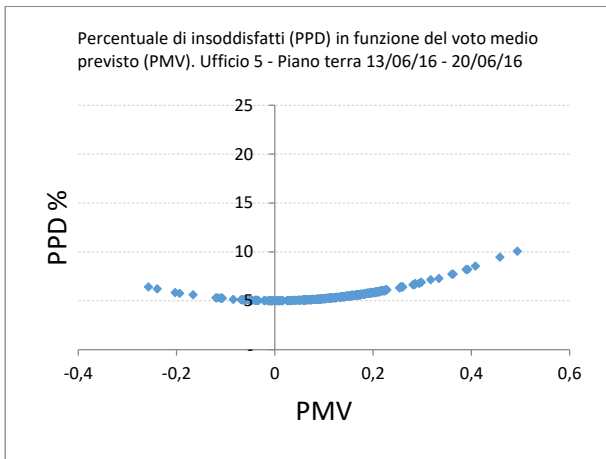
c) Ufficio 10



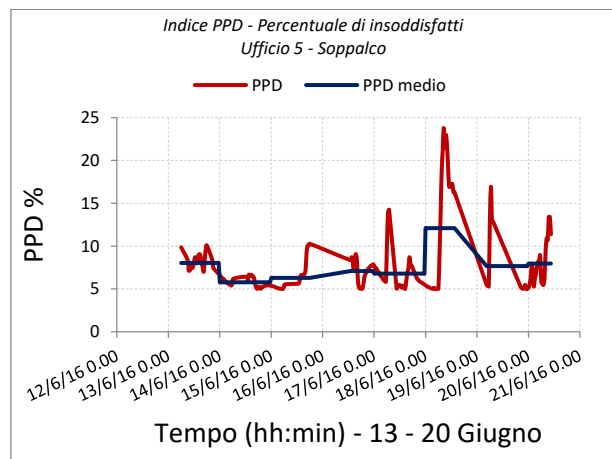
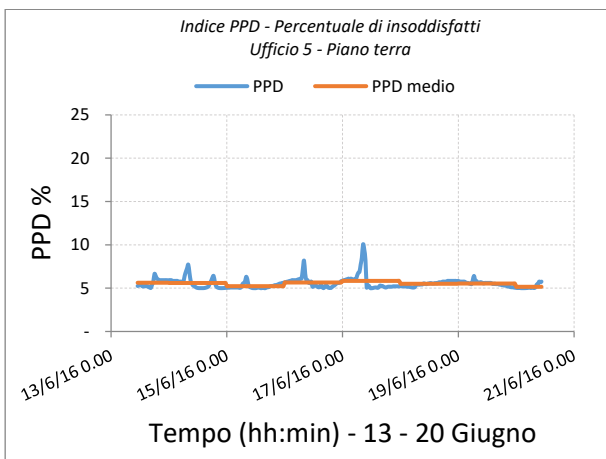
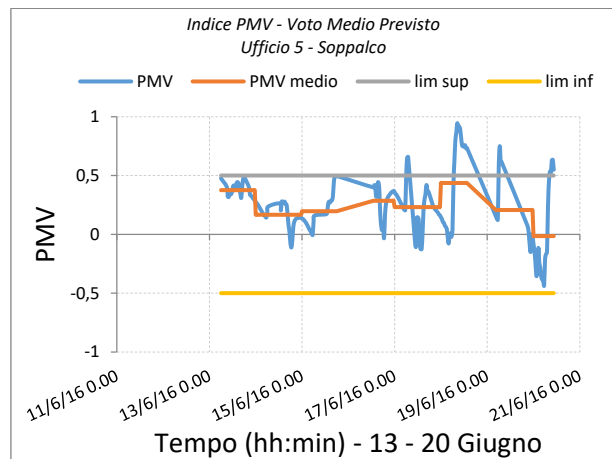
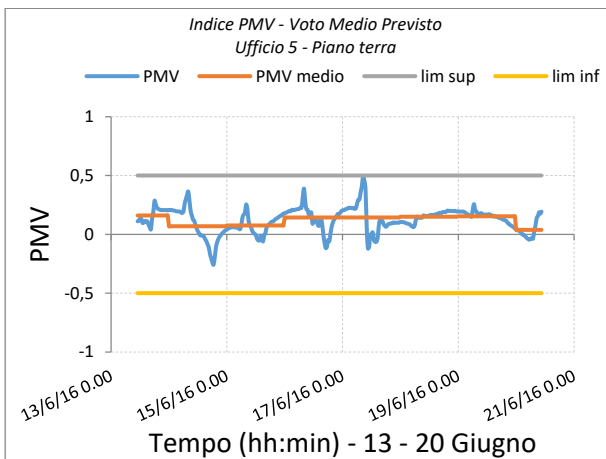
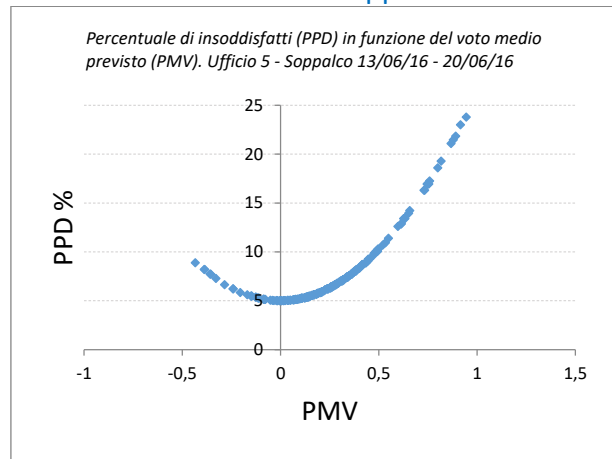
Indici di comfort termico - Periodo 13 – 20 Giugno

a) Ufficio 5

Ufficio 5 – Piano terra

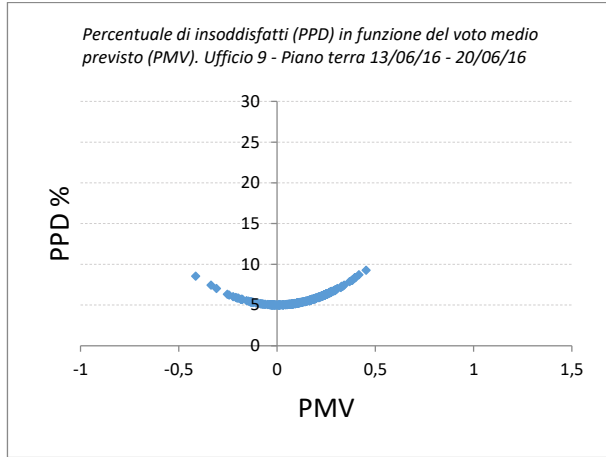


Ufficio 5 – Soppalco

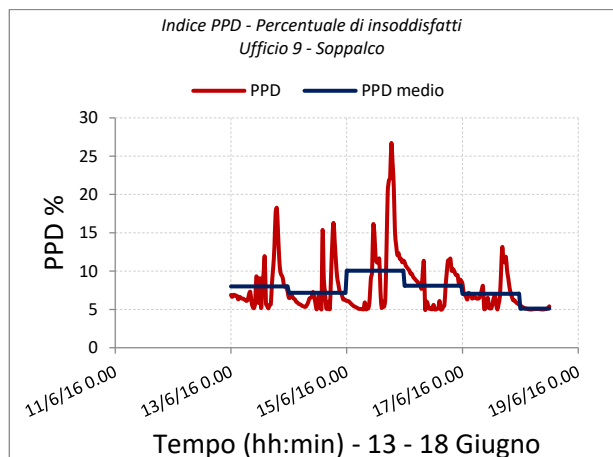
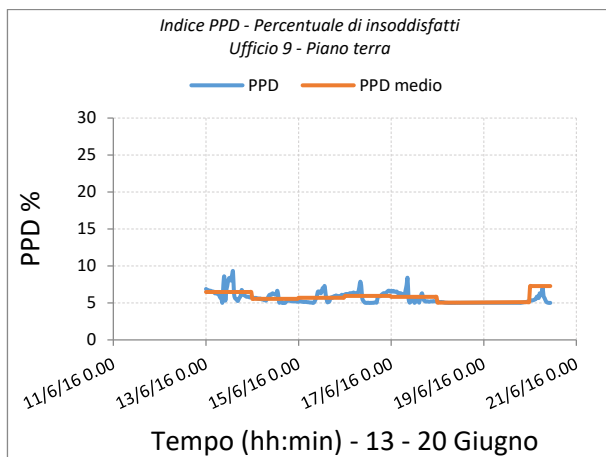
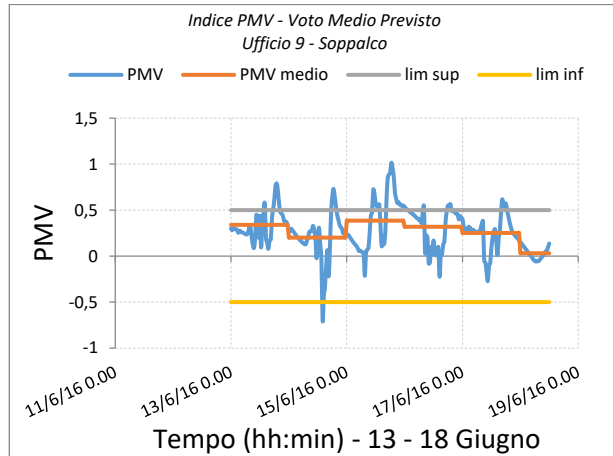
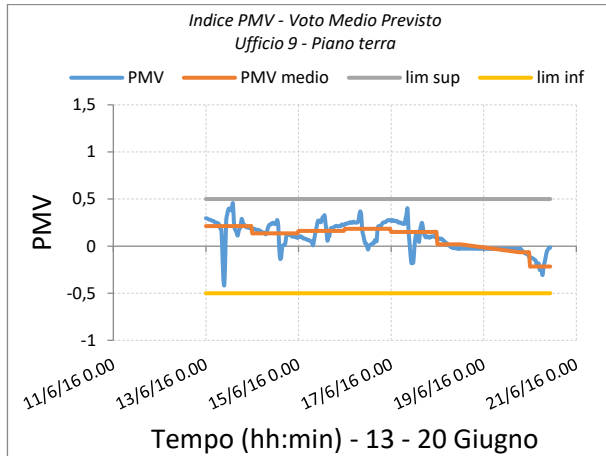
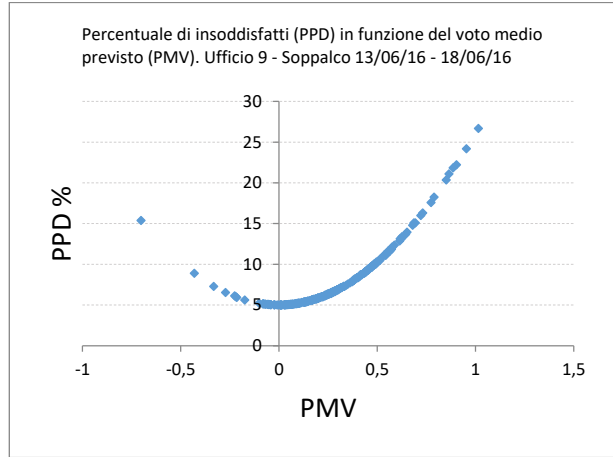


b) Ufficio 9

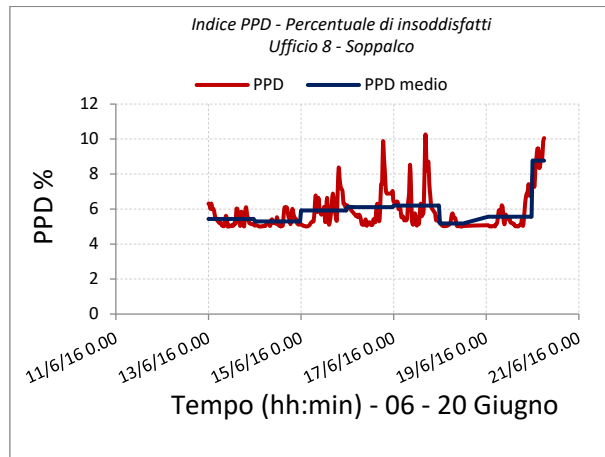
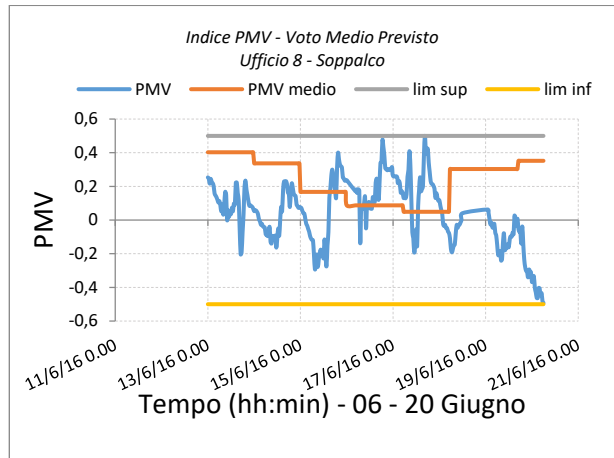
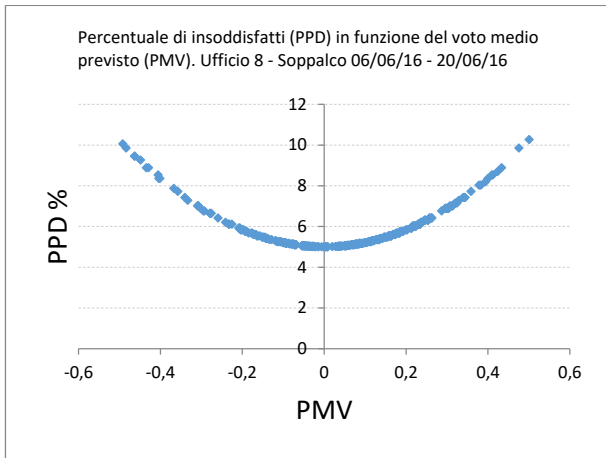
Ufficio 9 – Piano terra



Ufficio 9 – Soppalco

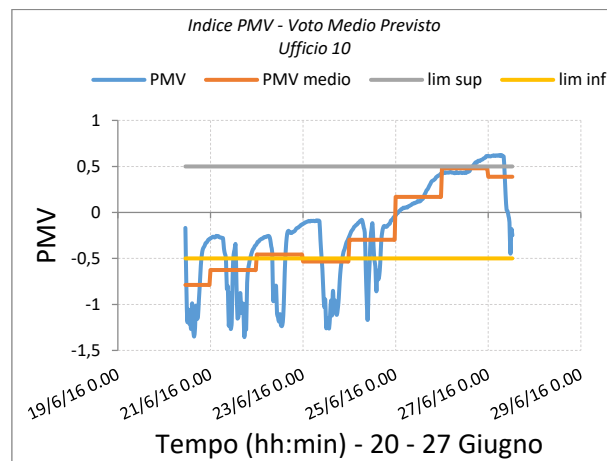
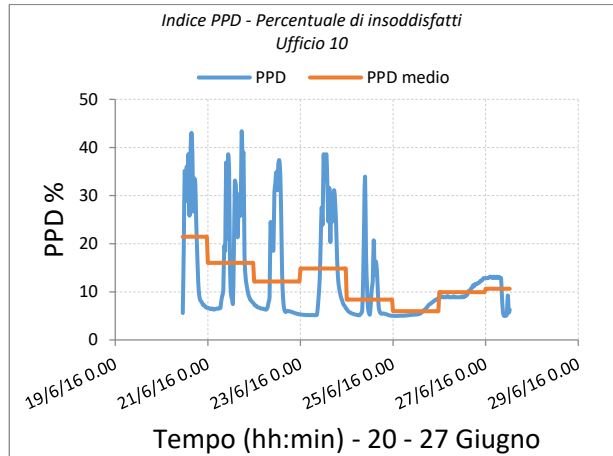
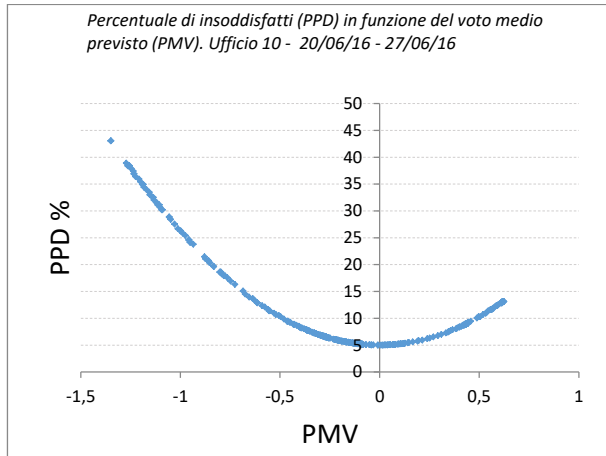


c) Ufficio 8 - Soppalco



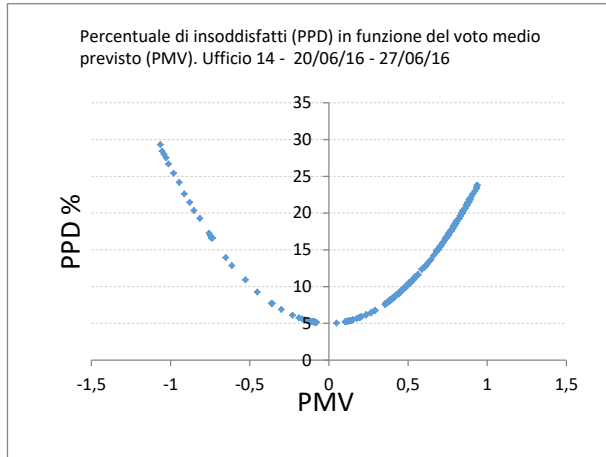
Indici di comfort termico - Periodo 20 – 27 Giugno

a) Ufficio 10

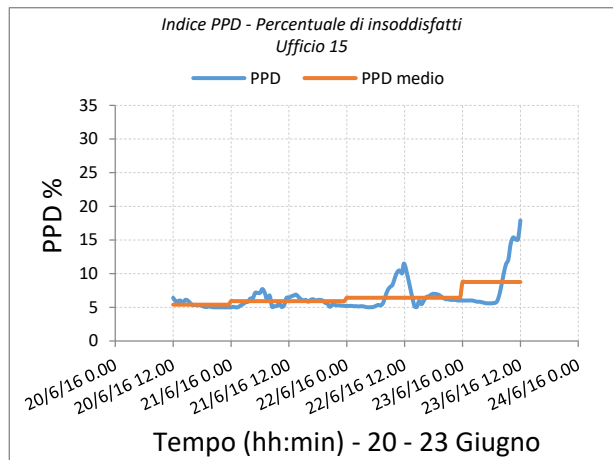
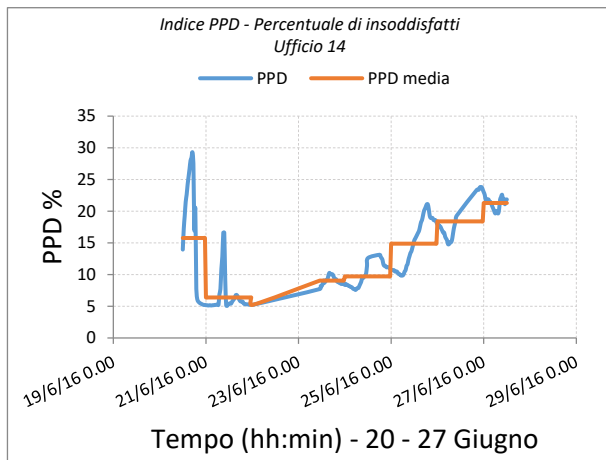
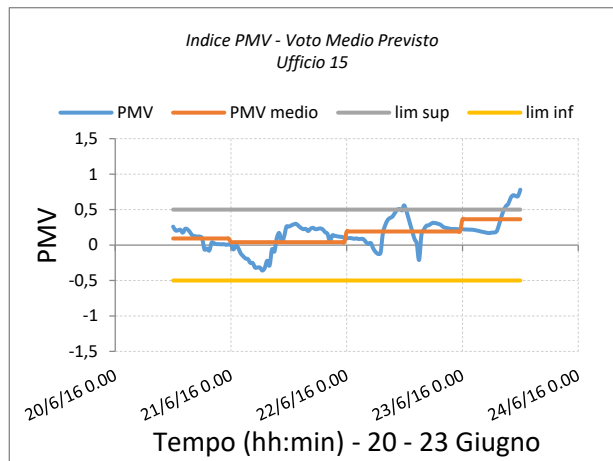
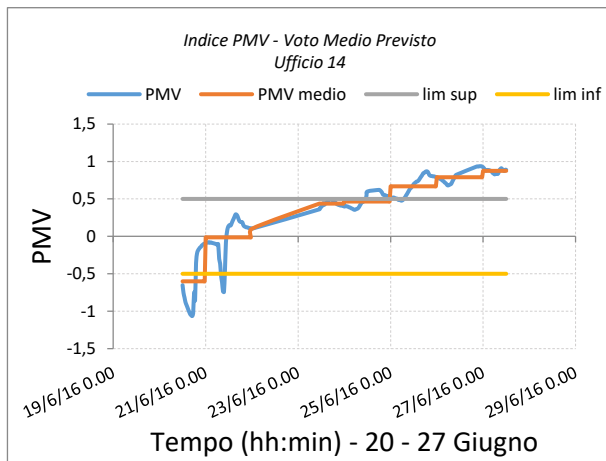
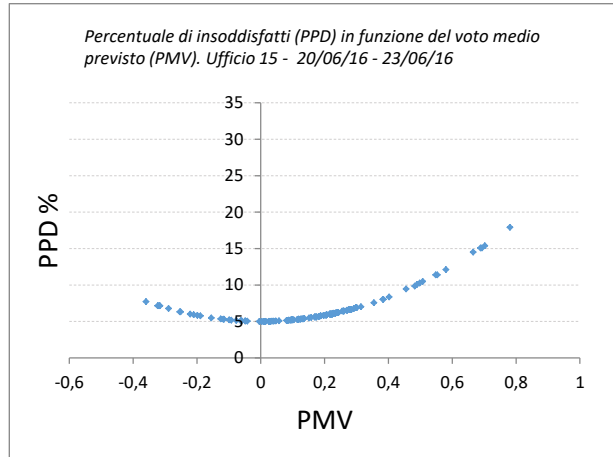


b) Uffici 14 e 15

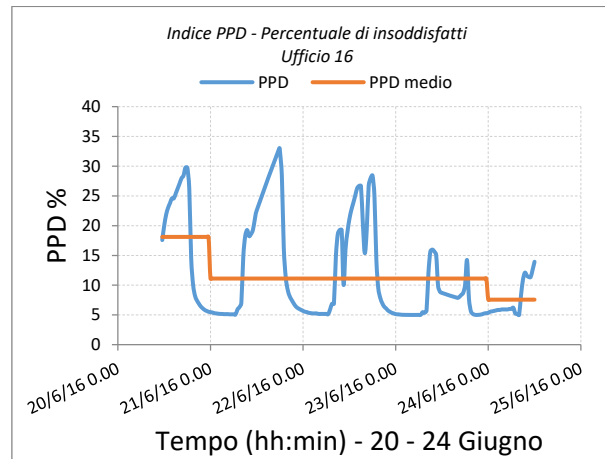
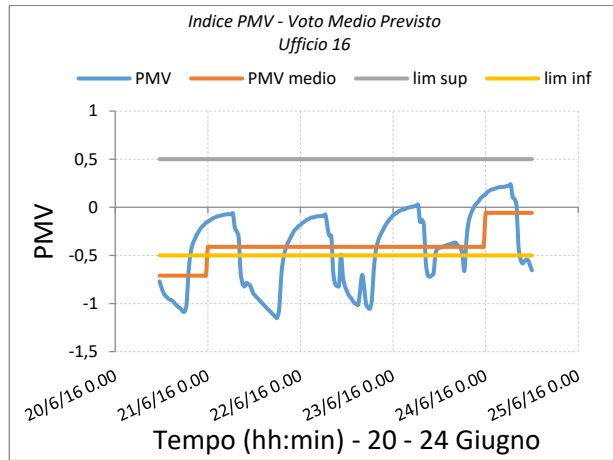
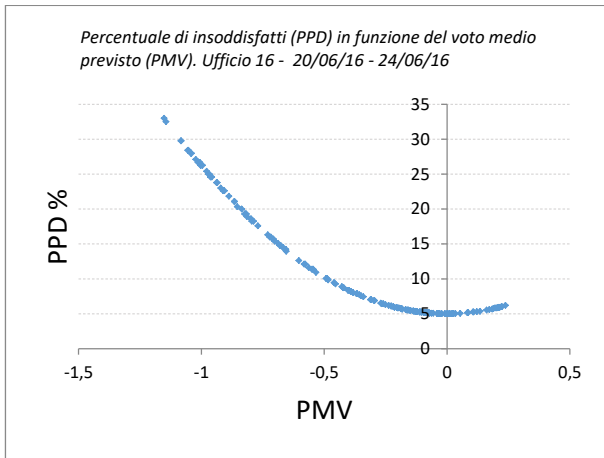
Ufficio 14



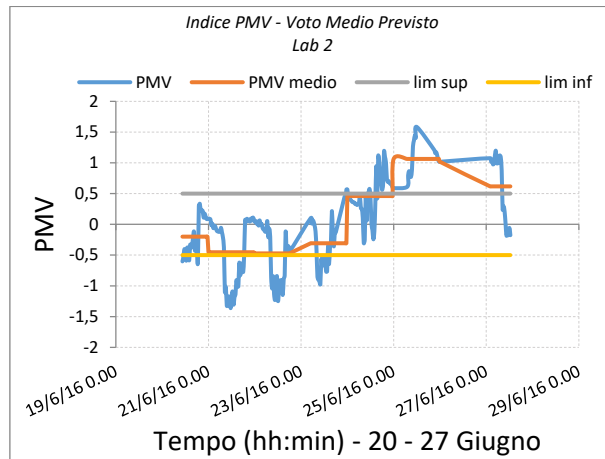
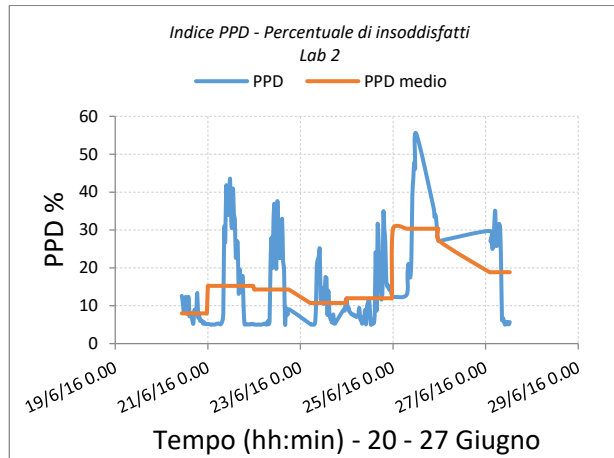
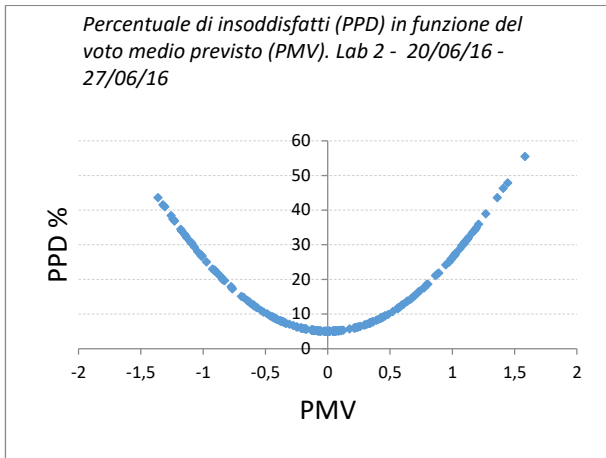
Ufficio 15



c) Ufficio 16



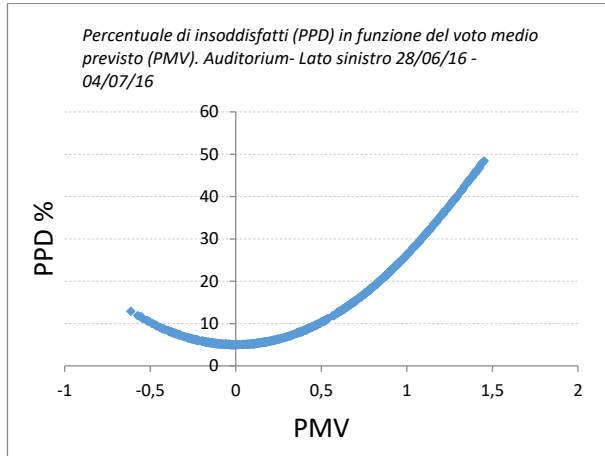
d) Lab 2



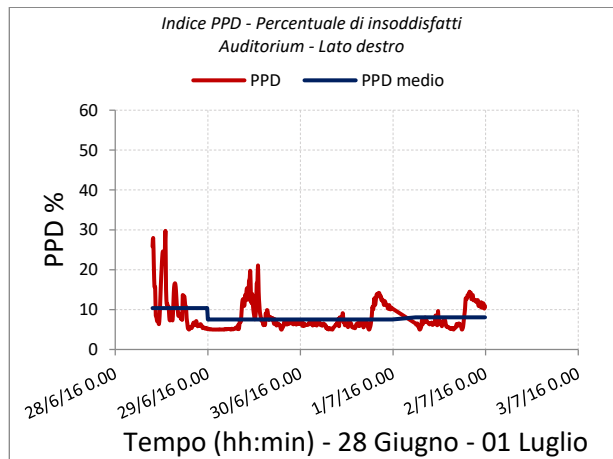
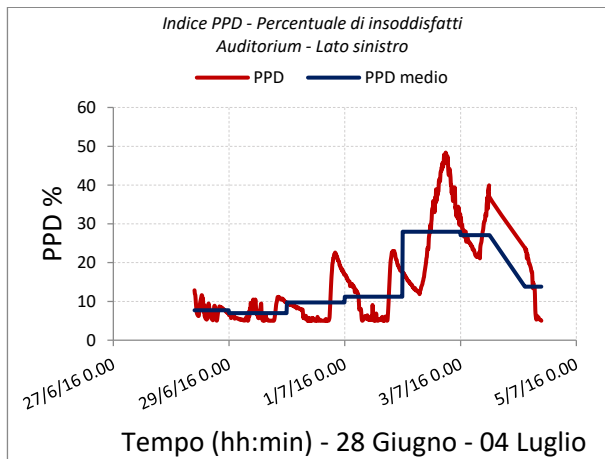
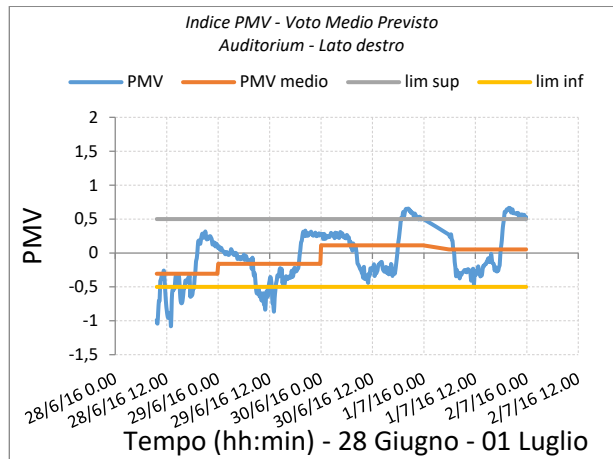
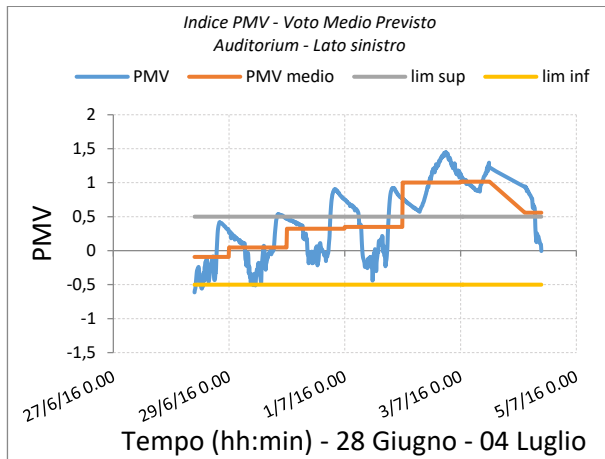
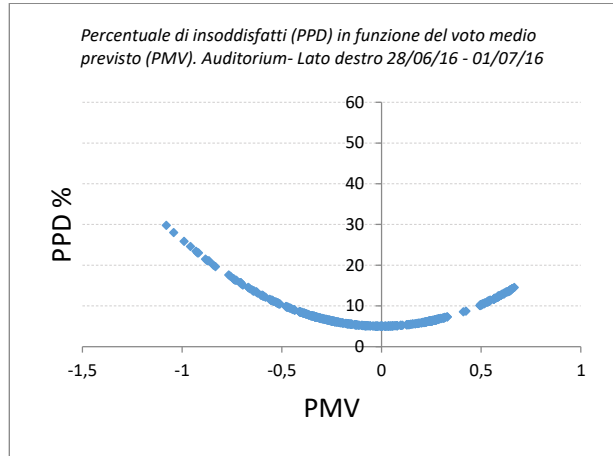
Indici di comfort termico - Periodo 28 Giugno – 04 Luglio

a) Auditorium

Auditorium – Lato sinistro

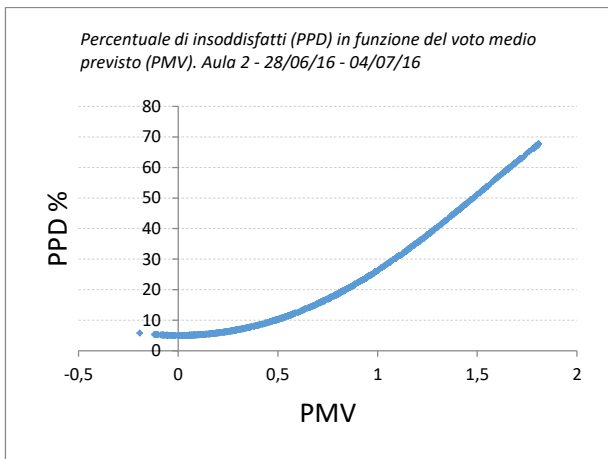


Auditorium – Lato destro

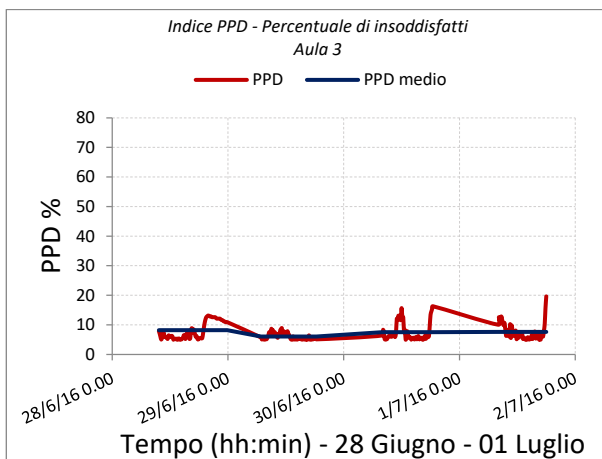
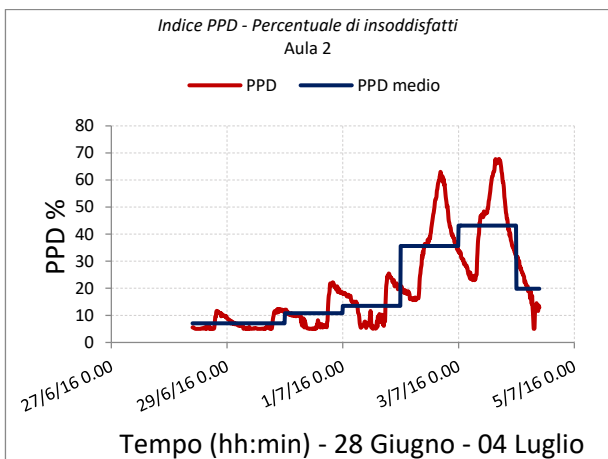
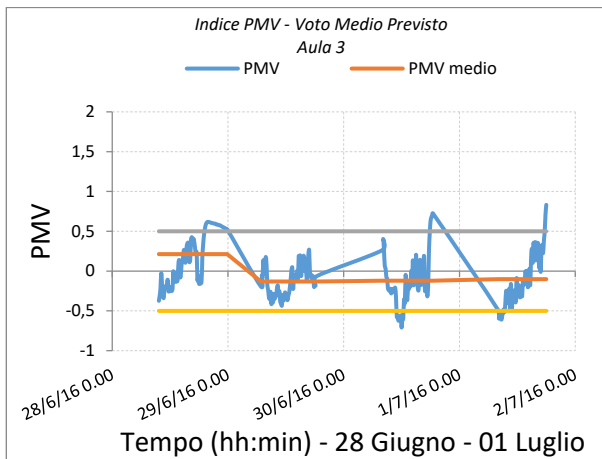
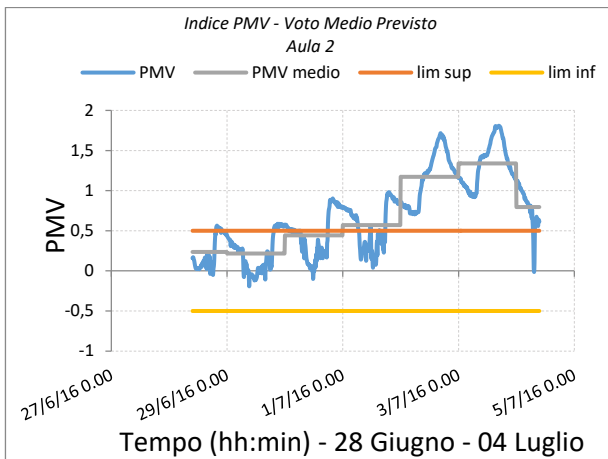
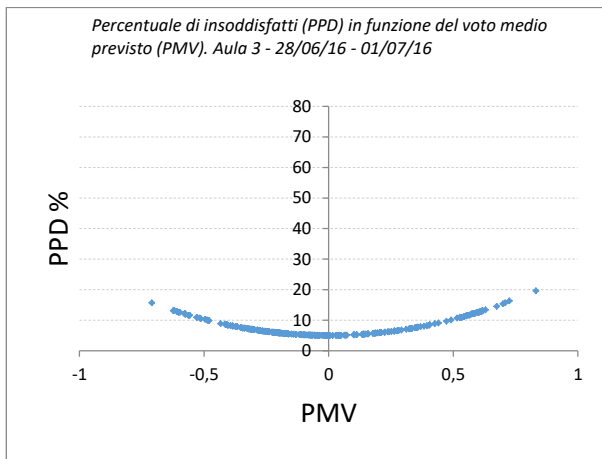


b) Aula 2 e aula 3

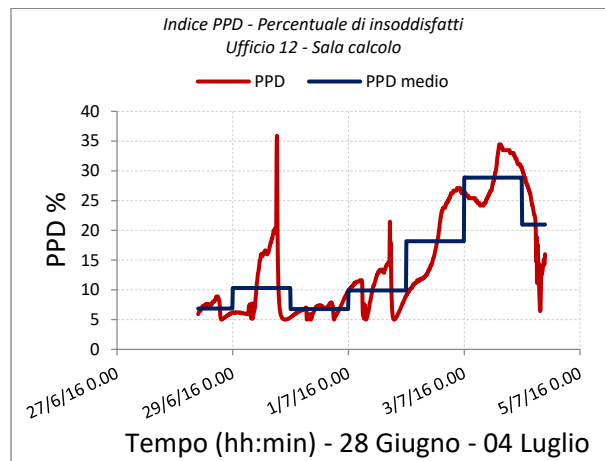
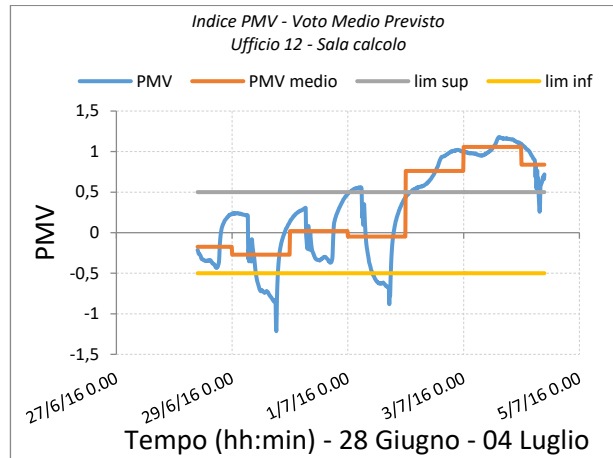
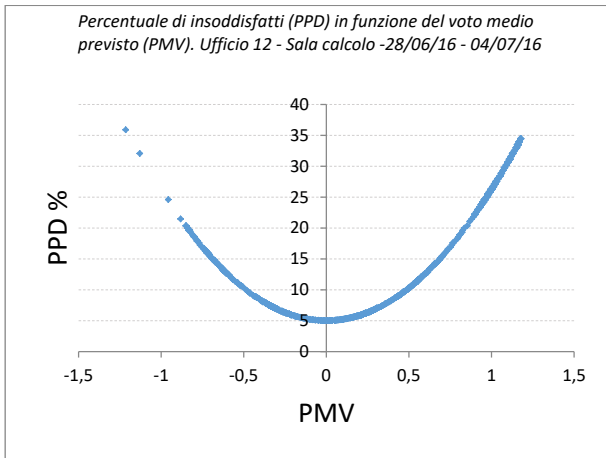
Aula 2



Aula 3



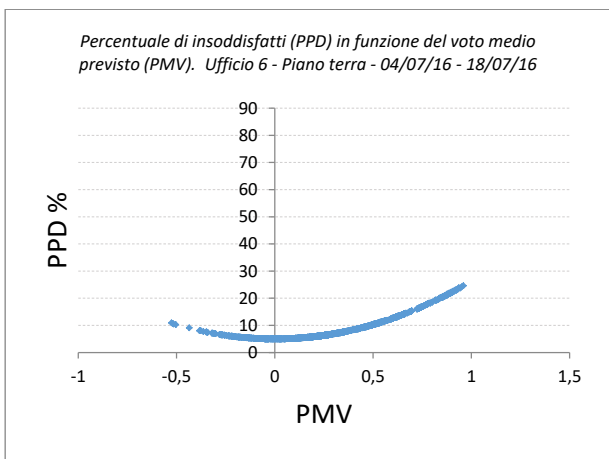
c) Ufficio 12 – Sala calcolo



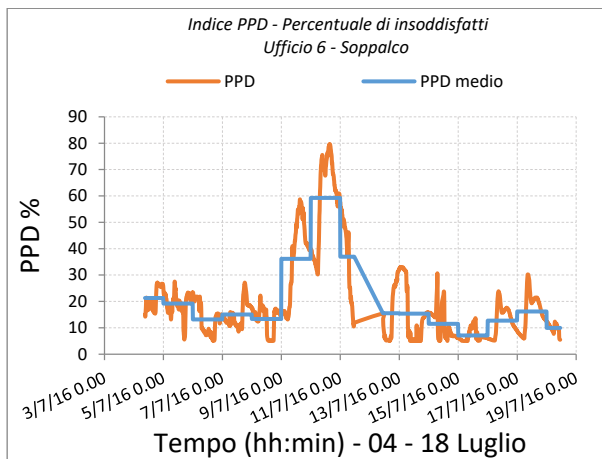
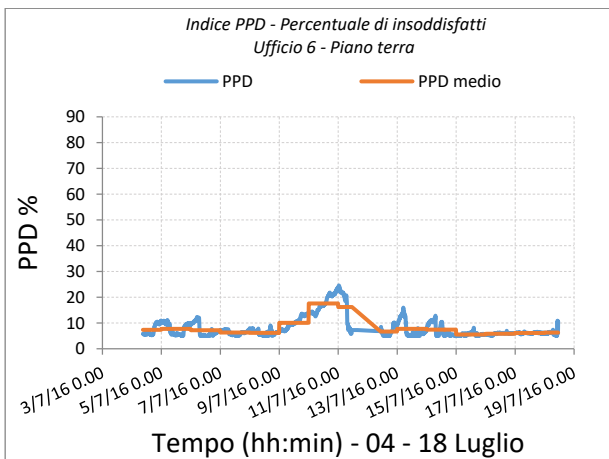
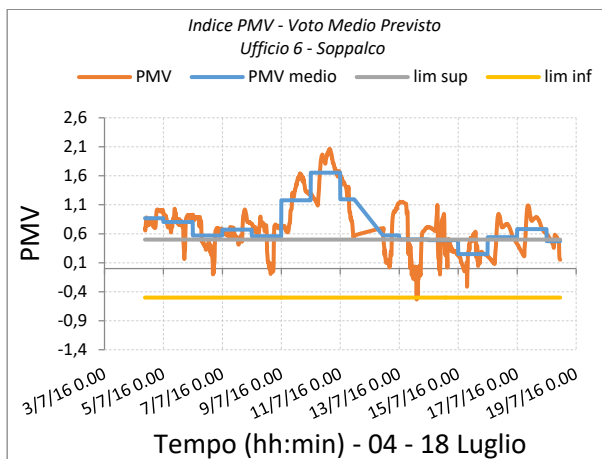
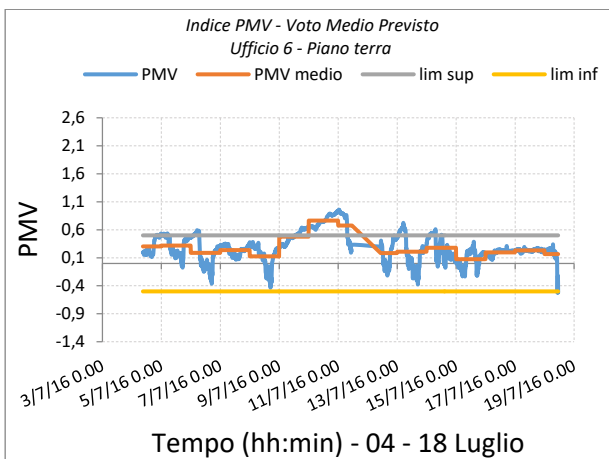
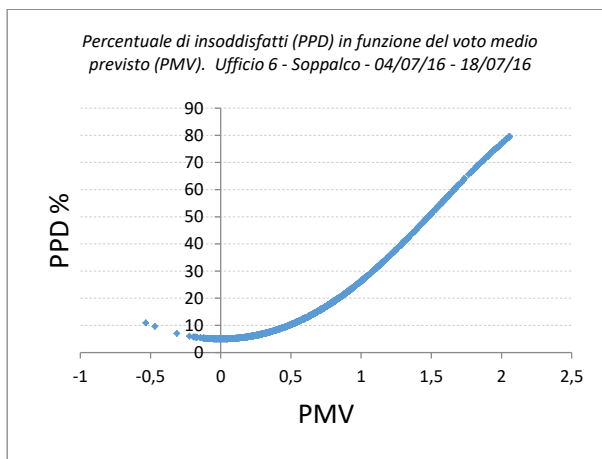
Indici di comfort termico - Periodo 04 - 18 Luglio

a) Ufficio 6

Ufficio 6 – Piano terra

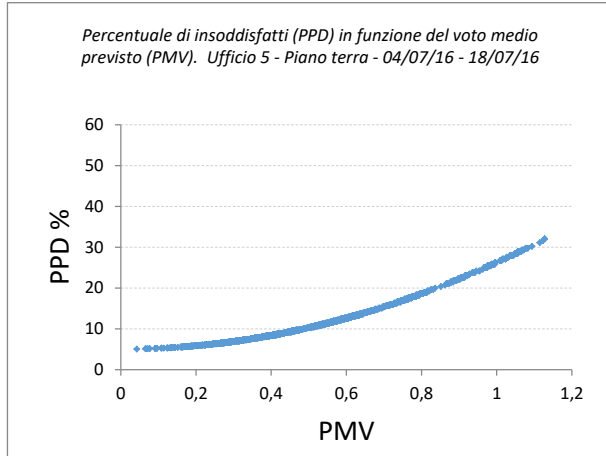


Ufficio 6 - Soppalco

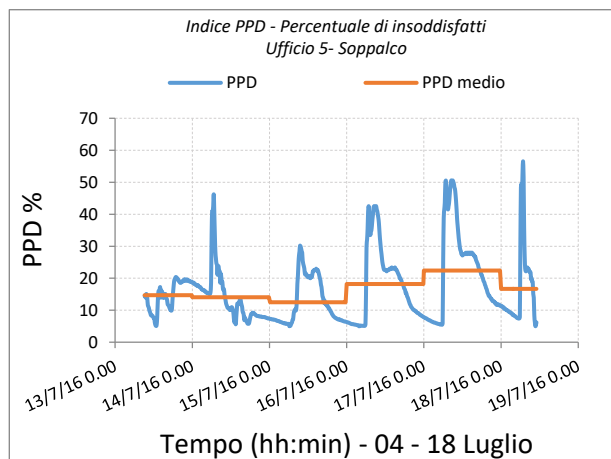
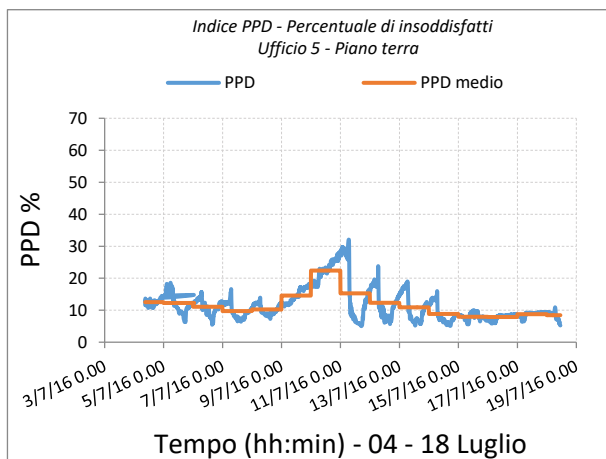
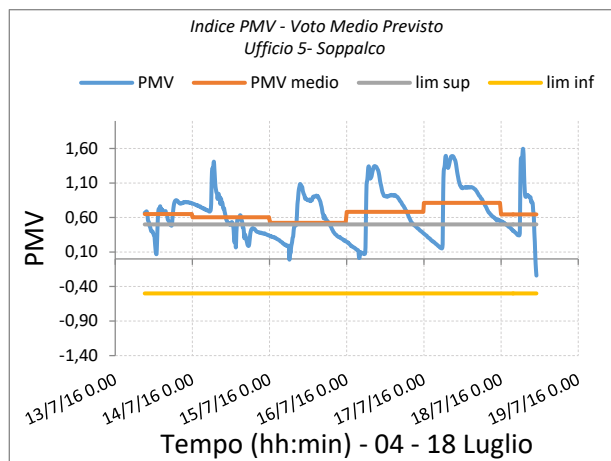
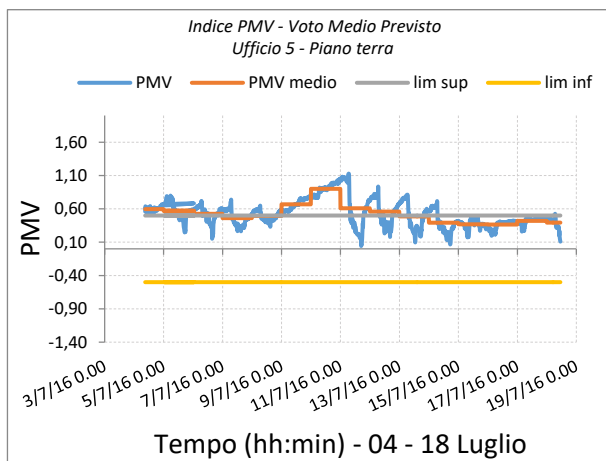
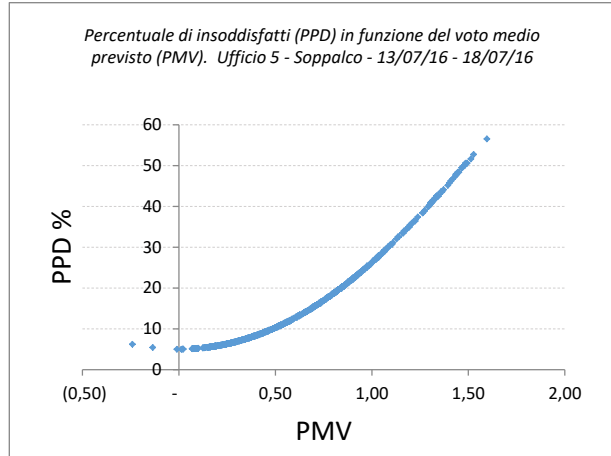


b) Ufficio 5

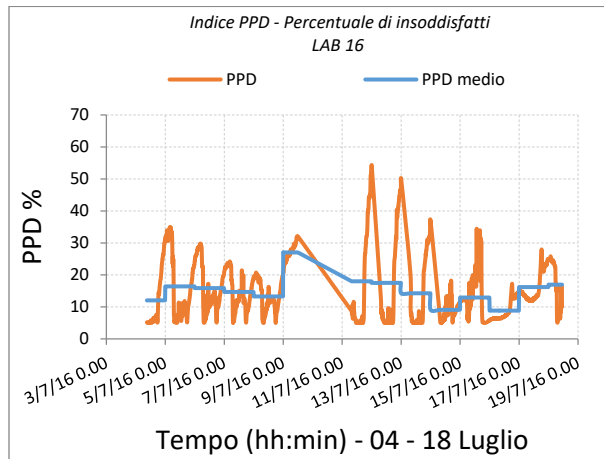
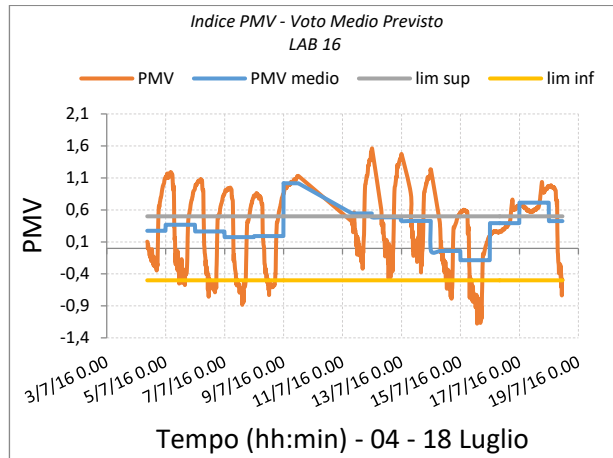
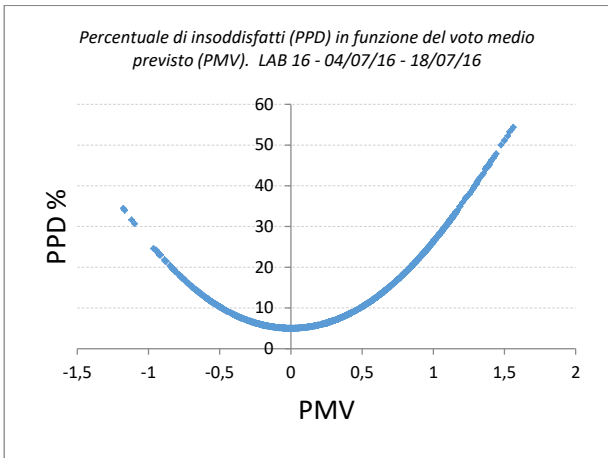
Ufficio 5 – Piano terra



Ufficio 5 – Soppalco



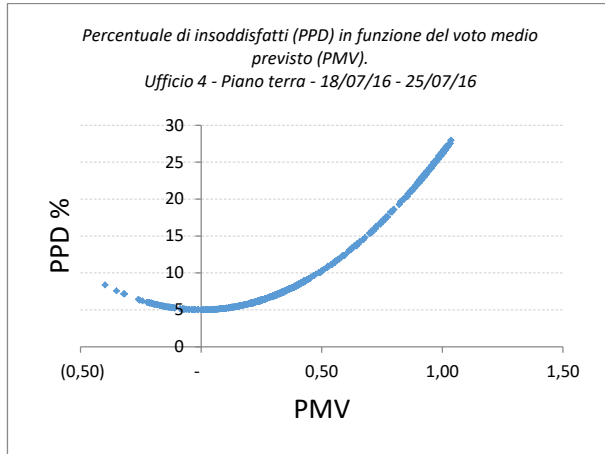
c) LAB 16



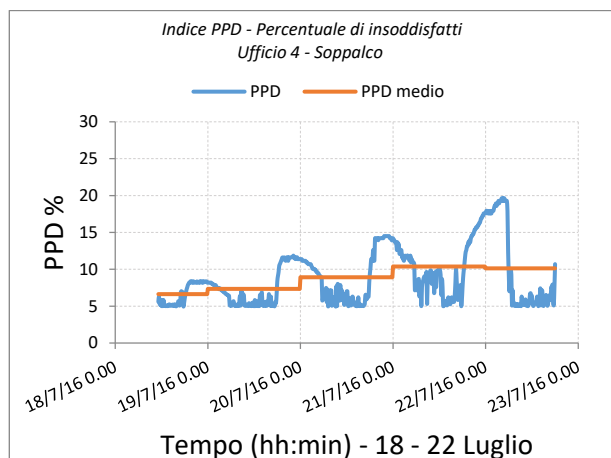
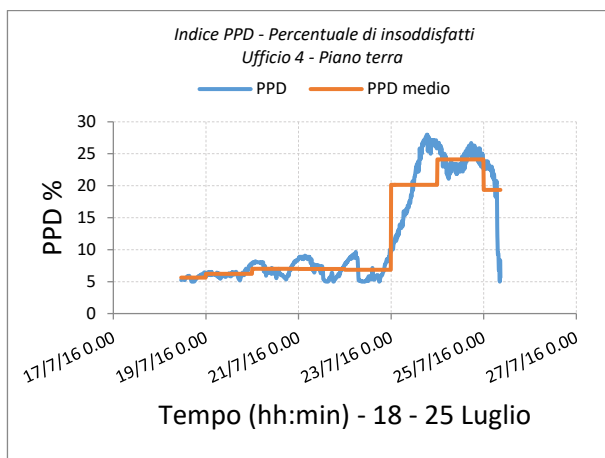
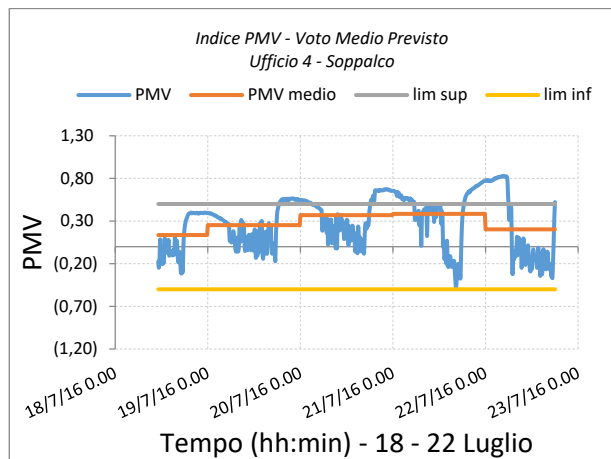
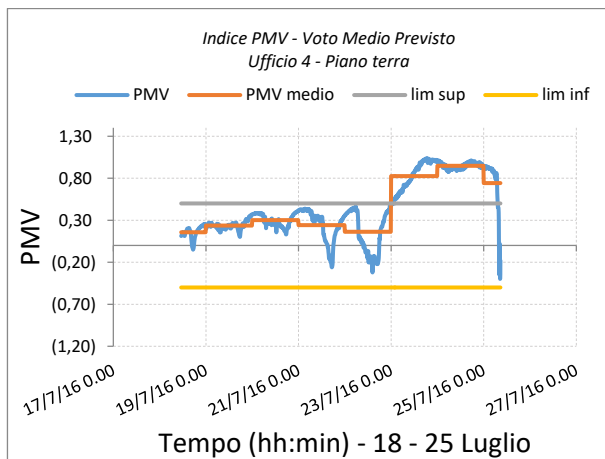
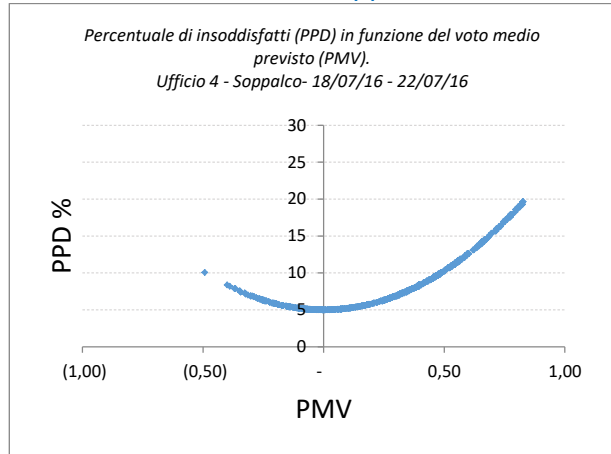
Indici di comfort termico - Periodo 18 – 25 Luglio

a) Ufficio 4

Ufficio 4 – Piano terra

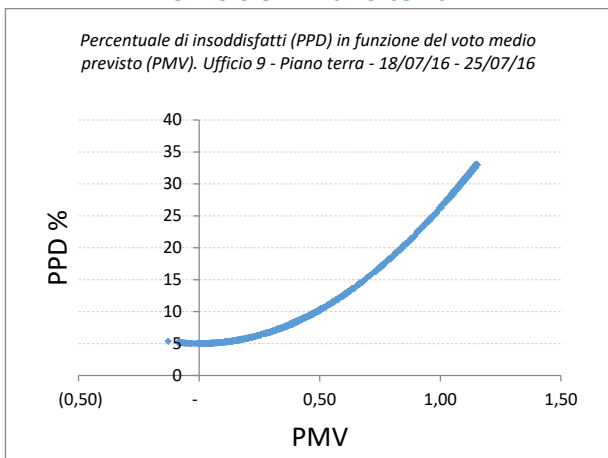


Ufficio 4 - Soppalco

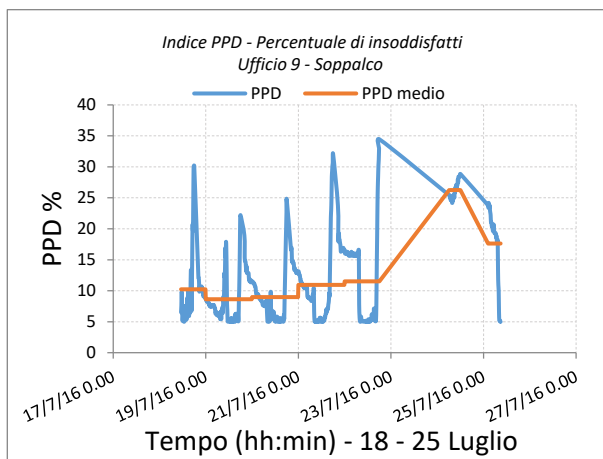
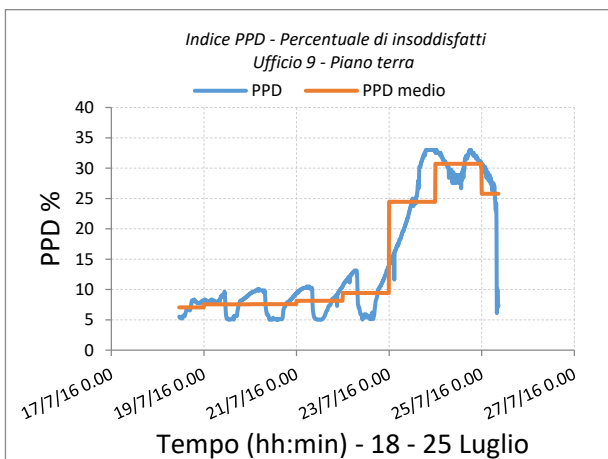
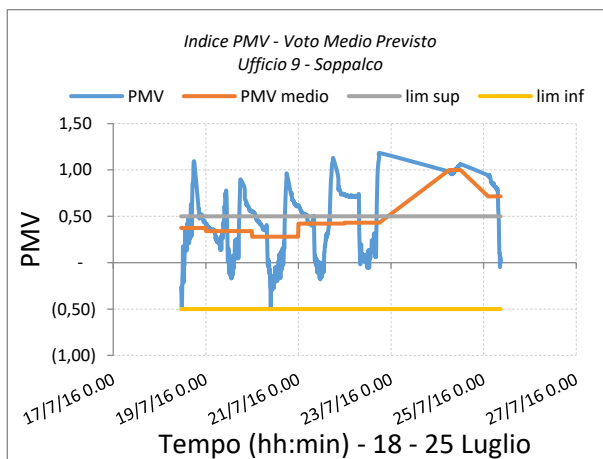
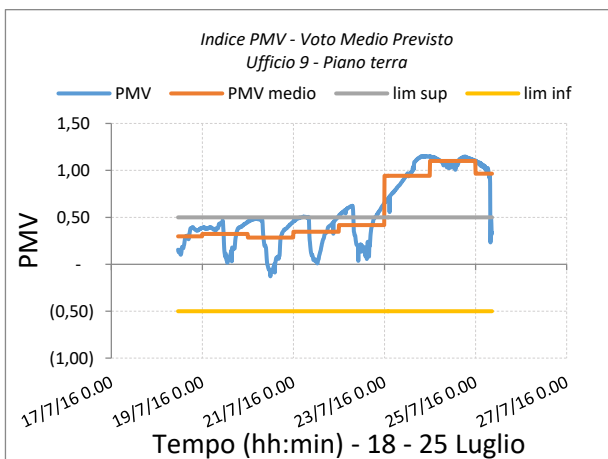
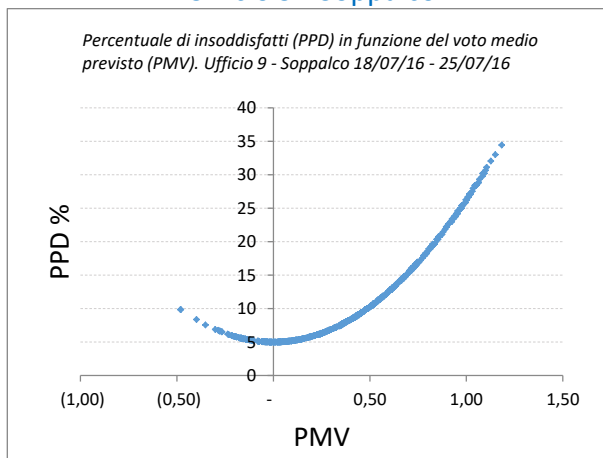


b) Ufficio 9

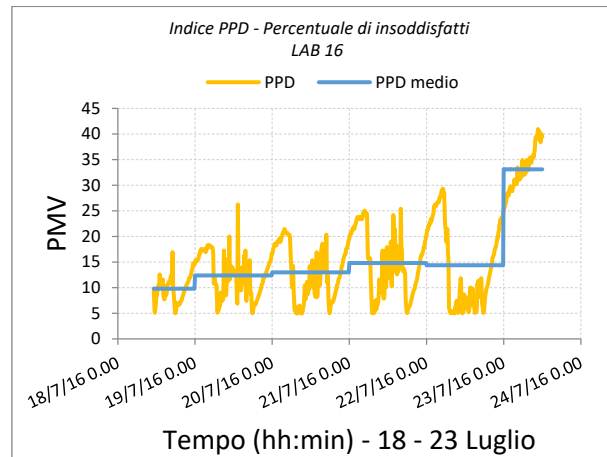
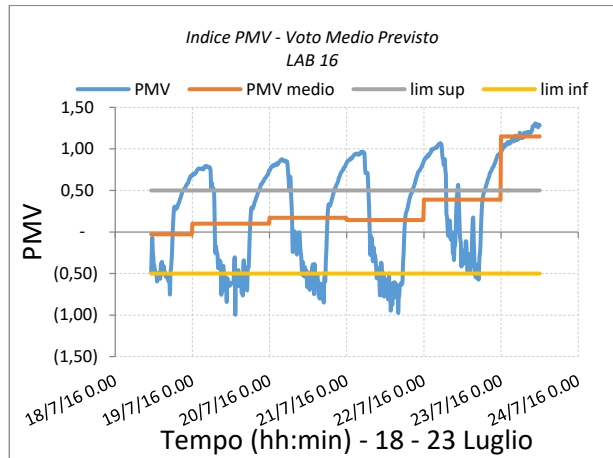
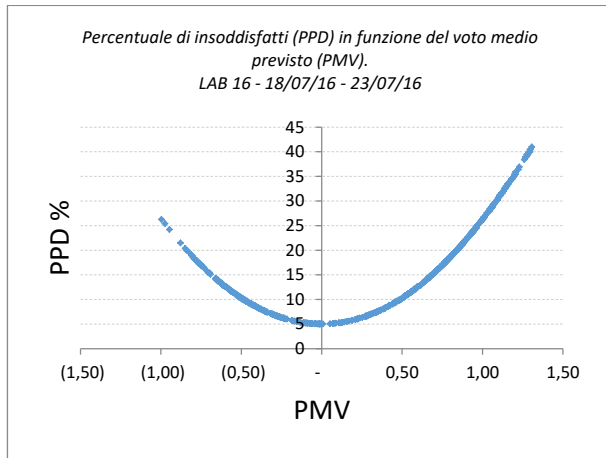
Ufficio 9 – Piano terra



Ufficio 9 - Soppalco



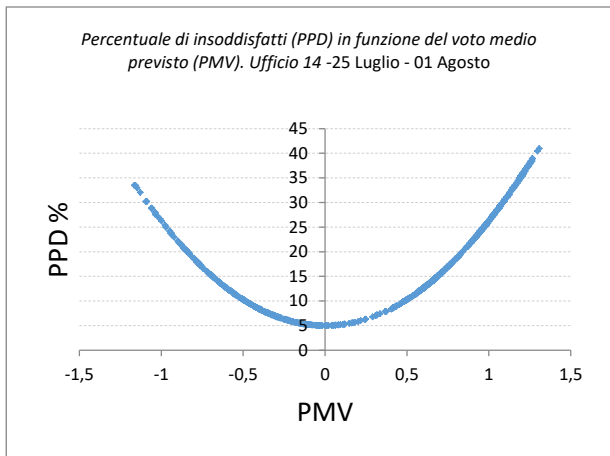
c) LAB 16



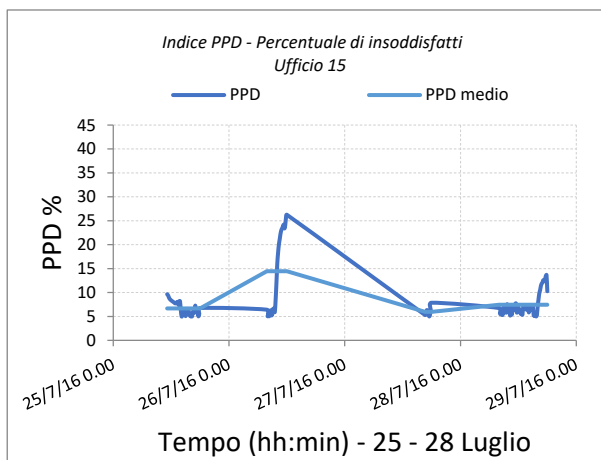
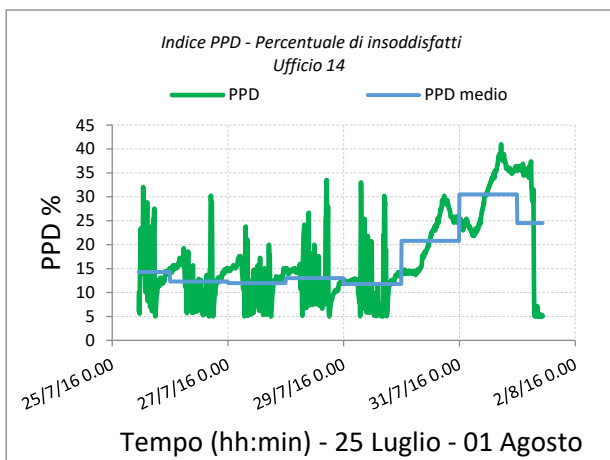
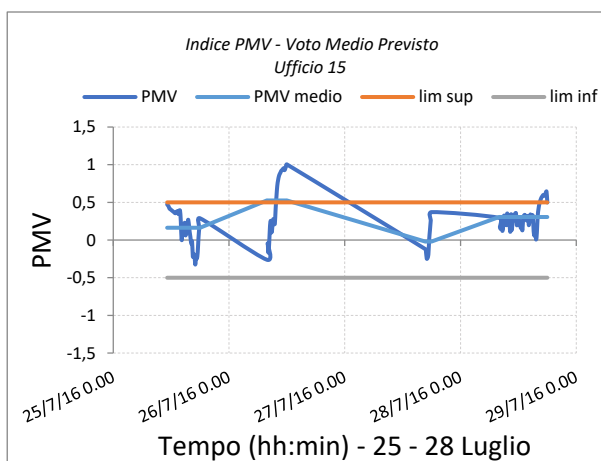
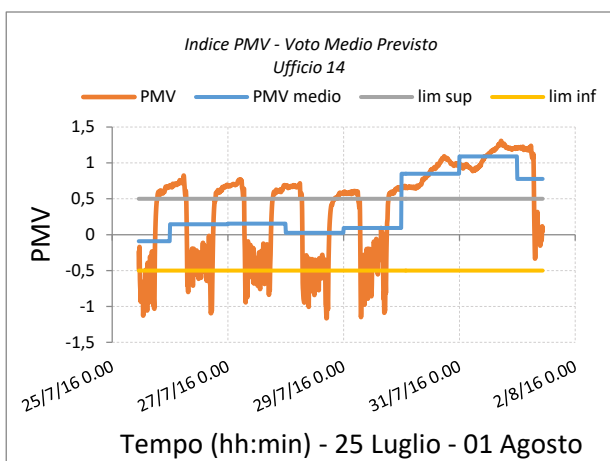
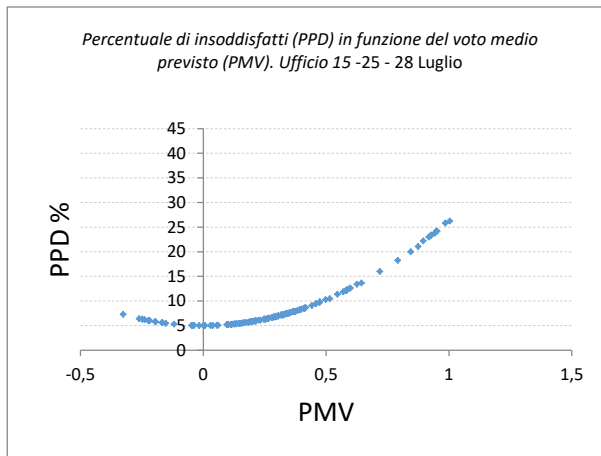
Indici di comfort termico - Periodo 25 Luglio - 01 Agosto

a) Ufficio 14 e ufficio 15

Ufficio 14

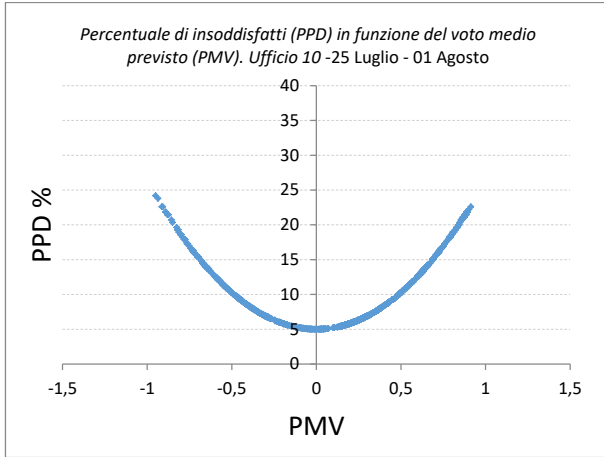


Ufficio 15

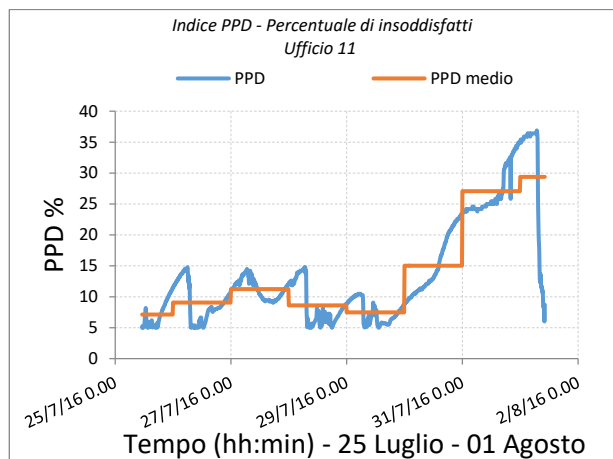
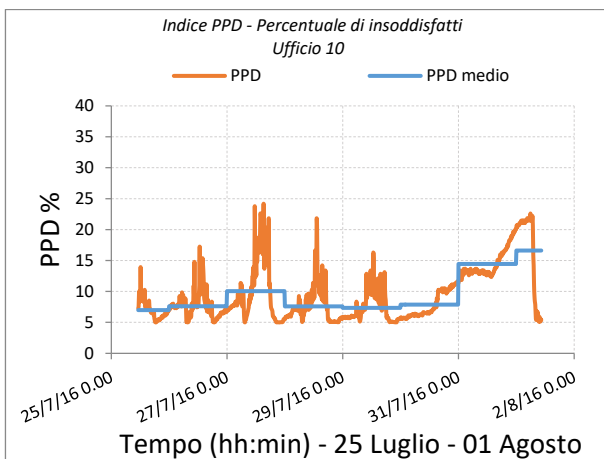
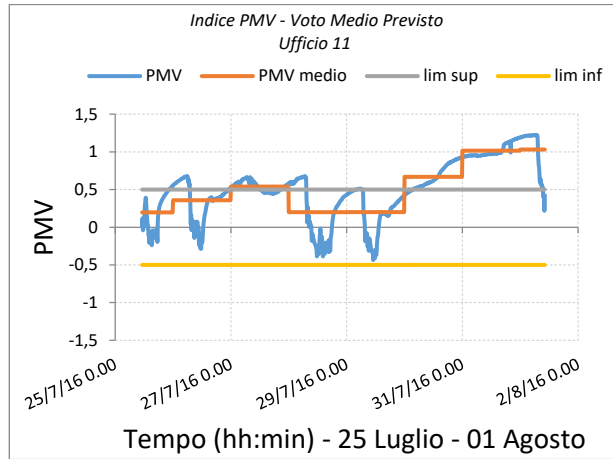
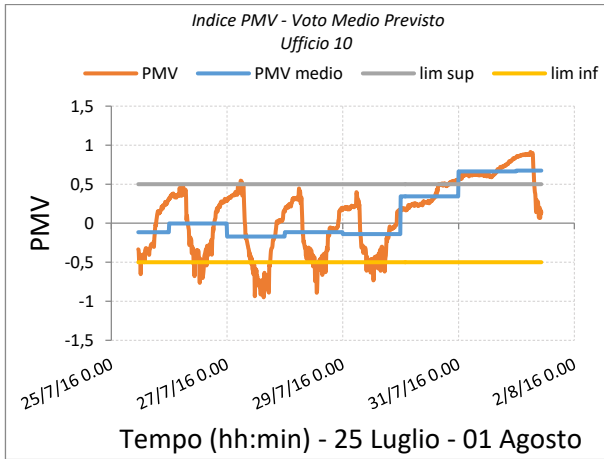
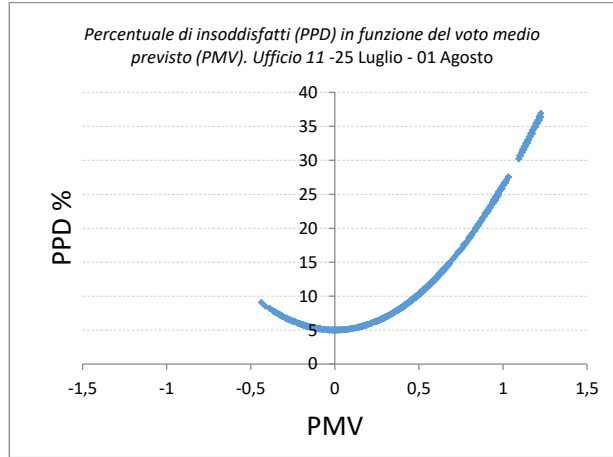


b) Ufficio 10 e Ufficio 11

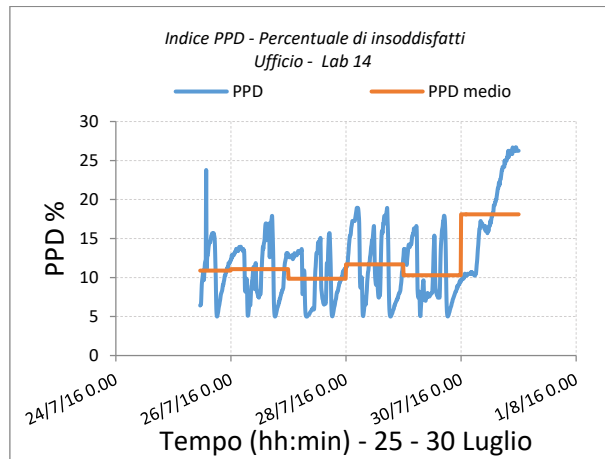
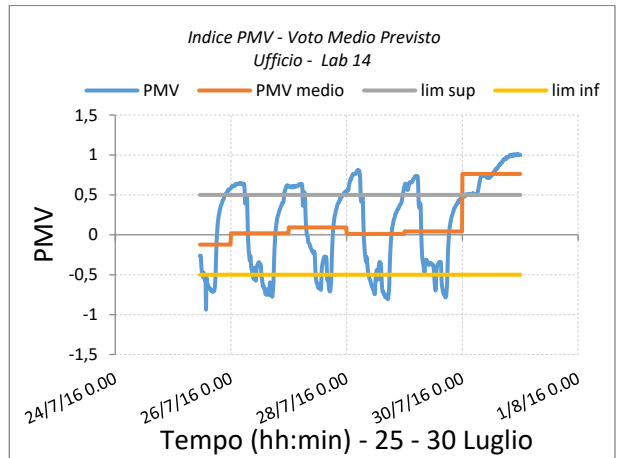
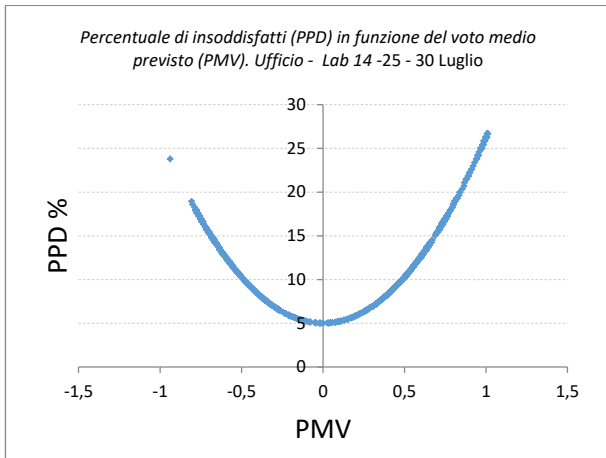
Ufficio 10



Ufficio 11



c) Ufficio – Lab 14



Misure di temperatura e umidità relativa interna

a) Ufficio – lab 14



Figura 6.7. Pianta ufficio-lab 14. Il posizionamento dei Tinytag è indicato dalla stellina celeste

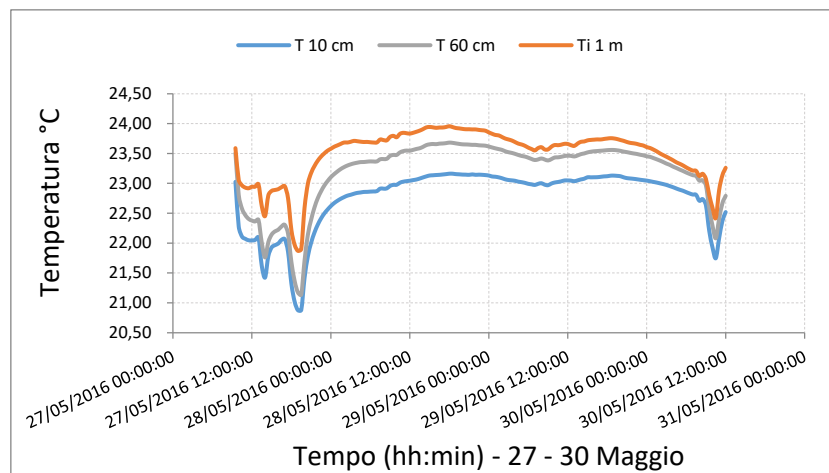


Figura 6.8. Andamento della Temperatura interna a diverse altezze dal pavimento nell'ufficio – lab 14.

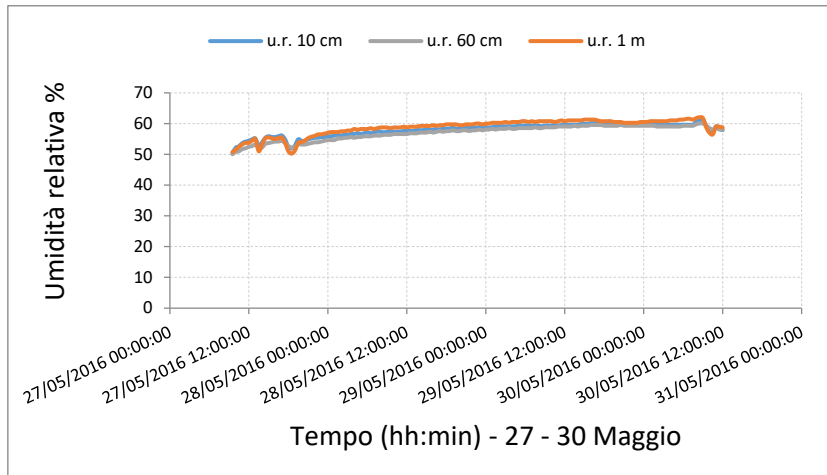


Figura 6.9. Andamento dell'umidità relativa interna a diverse altezze dal pavimento nell'ufficio-lab 14.

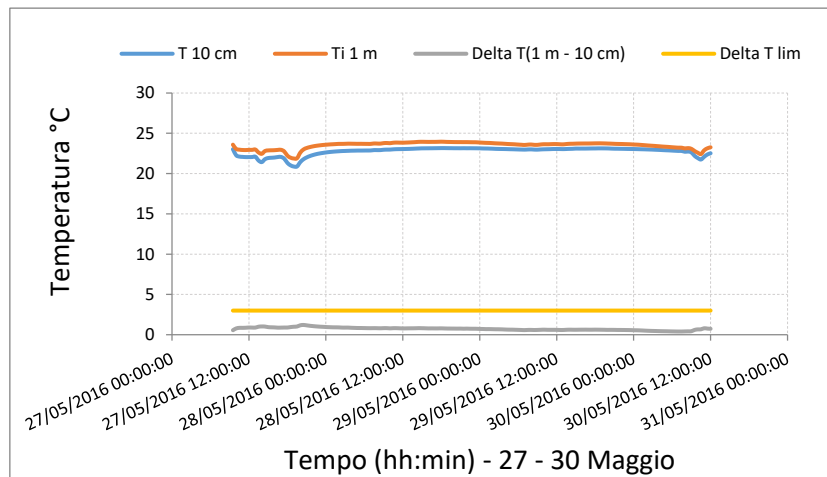


Figura 6.10. Confronto tra la variazione del Delta T livello testa e livello caviglie e il valore limite di 3 °C suggerito dalla normativa. (ufficio-lab 14)

b) Ufficio 11



Figura 6.11. Pianta ufficio 11. Il posizionamento dei tinytag è indicato dalla stellina celeste.

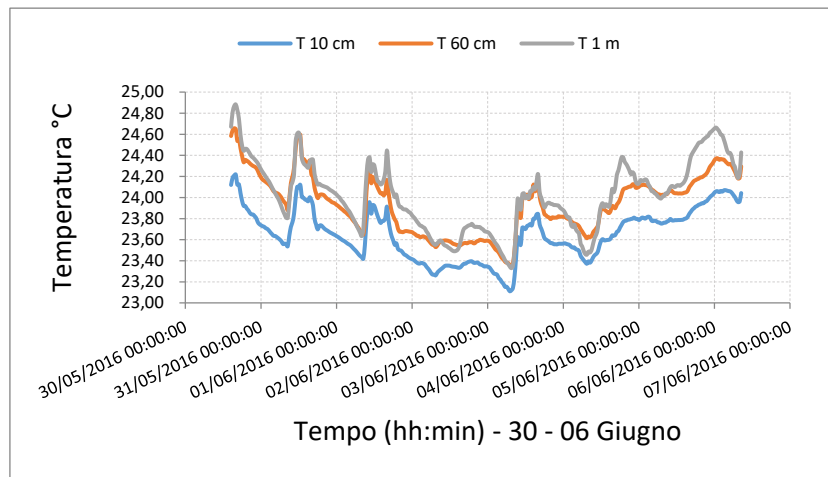


Figura 6.12. Andamento della Temperatura interna a diverse altezze dal pavimento all'interno dell'ufficio 11.

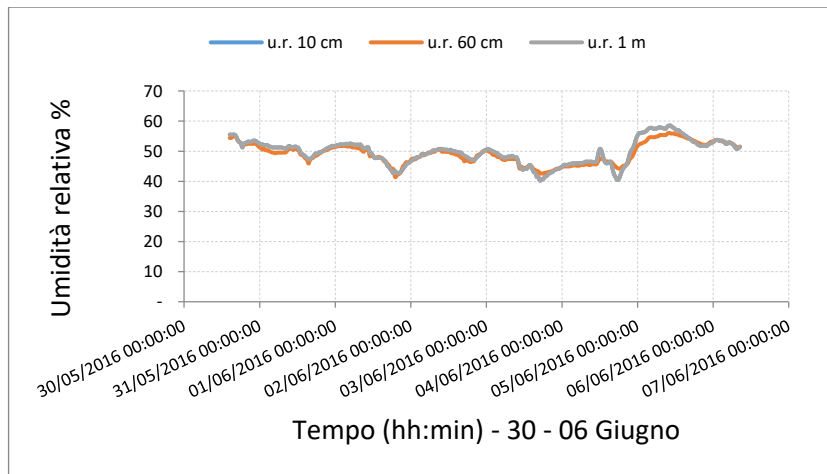


Figura 6.13. Andamento dell'umidità relativa interna a diverse altezze dal pavimento all'interno dell'ufficio 11.

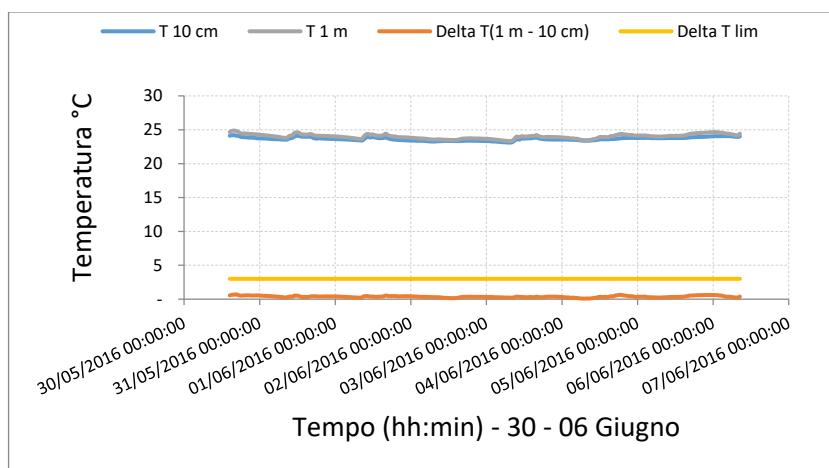


Figura 6.14. Confronto tra la variazione del Delta T livello testa e livello caviglie e il valore limite di 3 °C suggerito dalla normativa. (ufficio 11)

c) Ufficio 8 - Soppalco

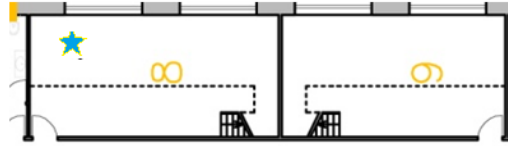


Figura 6.15. Pianta ufficio 8 - Soppalco. Il posizionamento dei Tinytag è indicato dalla stellina celeste.

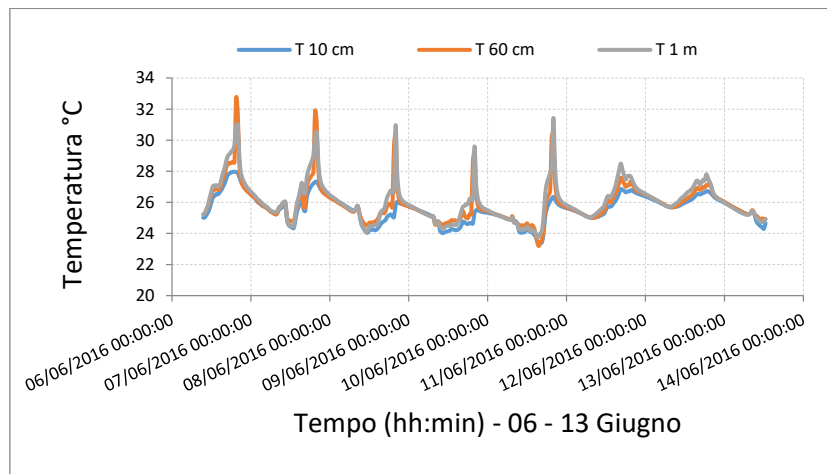


Figura 6.16. Andamento della Temperatura interna a diverse altezze dal pavimento nell'ufficio 8 – soppalco.

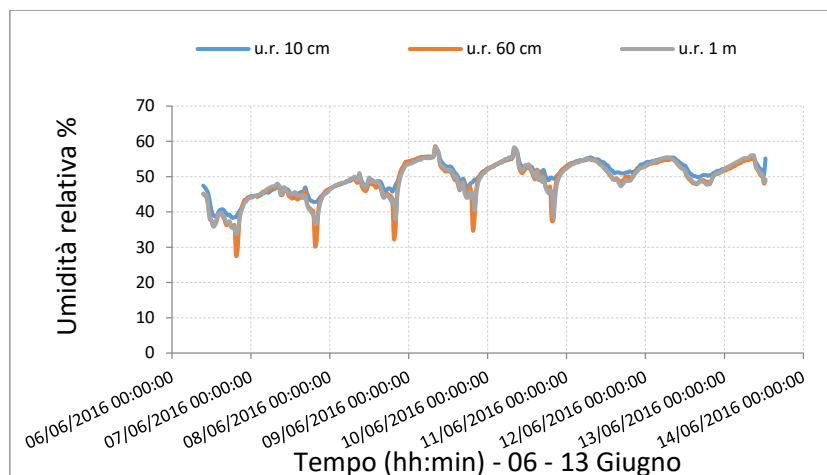


Figura 6.17. Andamento dell'umidità relativa interna a diverse altezze dal pavimento nell'ufficio 8–soppalco.

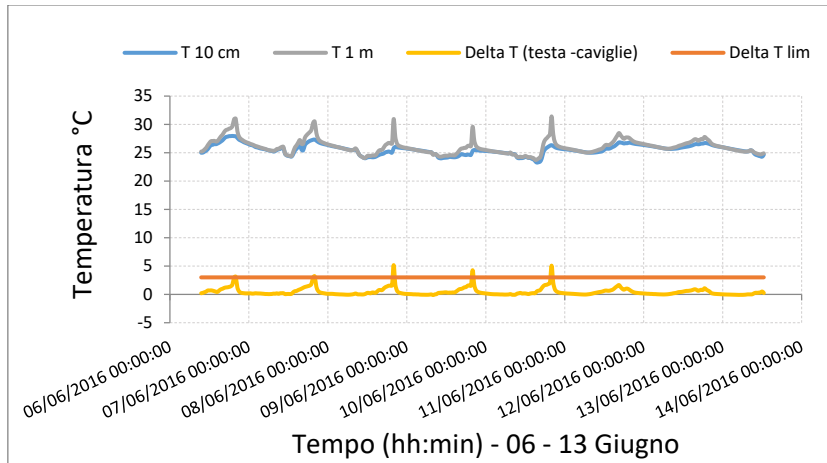


Figura 3. Confronto tra la variazione del Delta T livello testa e livello caviglie e il valore limite di 3 °C suggerito dalla normativa. (Ufficio 8 – soppalco)

d) Ufficio 8 – Piano terra

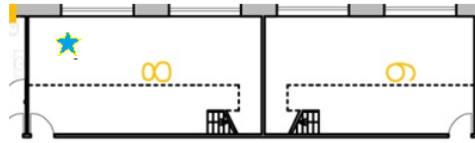


Figura 4. Pianta ufficio 8 – Piano terra. Il posizionamento dei Tinytag è indicato dalla stellina celeste.

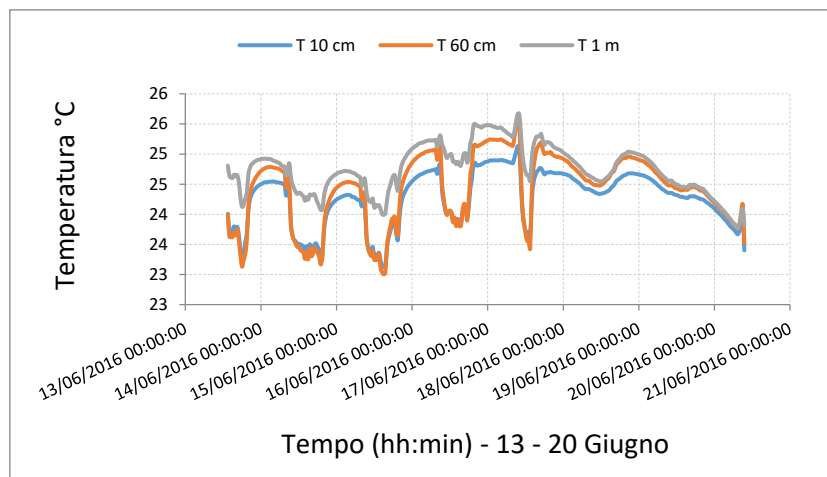


Figura 5. Andamento della Temperatura interna a diverse altezze dal pavimento nell'ufficio 8 – piano terra.

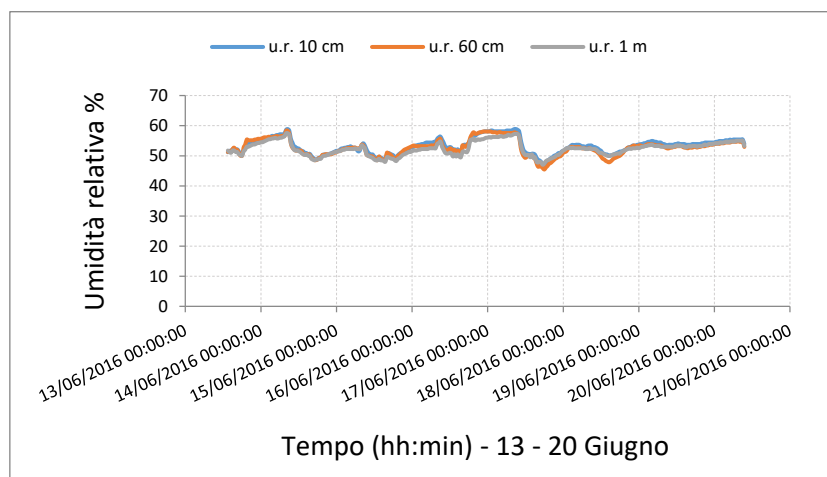


Figura 6. Andamento dell'umidità relativa interna a diverse altezze dal pavimento nell'ufficio 8 – piano terra.

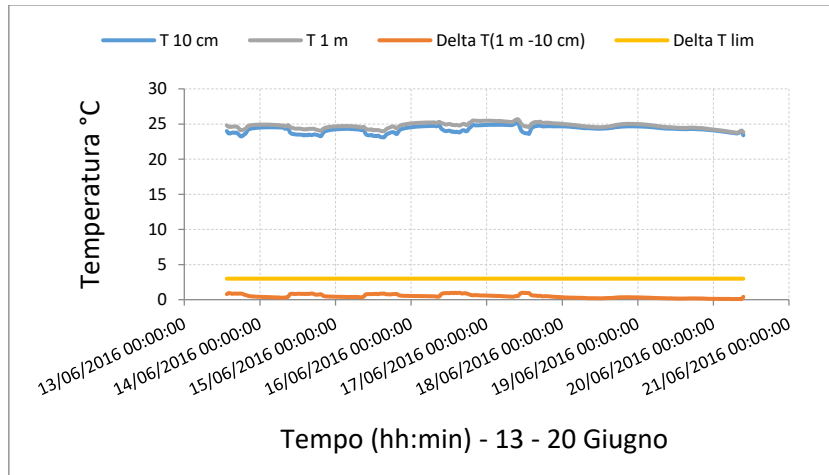


Figura 6.22. Confronto tra la variazione del Delta T livello testa e livello caviglie e il valore limite di 3 °C suggerito dalla normativa

e) Ufficio 5 – Soppalco

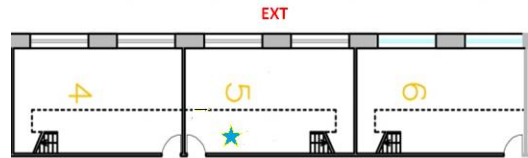


Figura 6.23. Pianta ufficio 5 – Soppalco. Il posizionamento dei tinytag è indicato dalla stellina celeste.

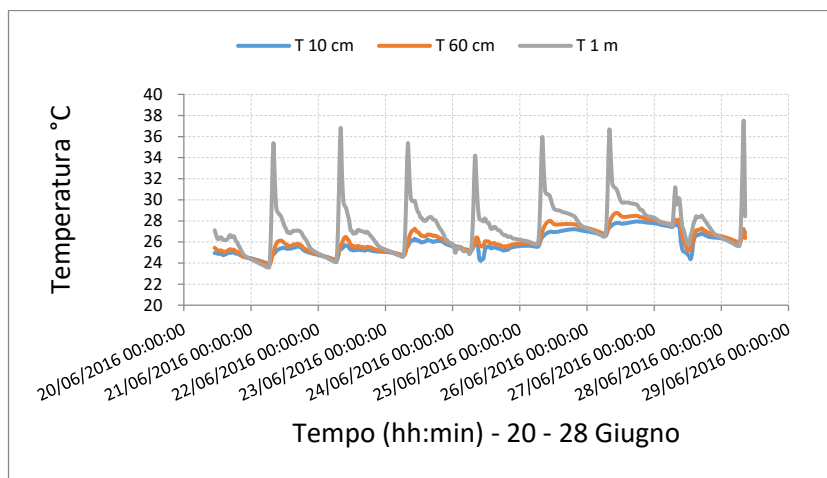


Figura 6.24. Andamento della Temperatura interna a diverse altezze dal pavimento nell'ufficio 5 – soppalco.

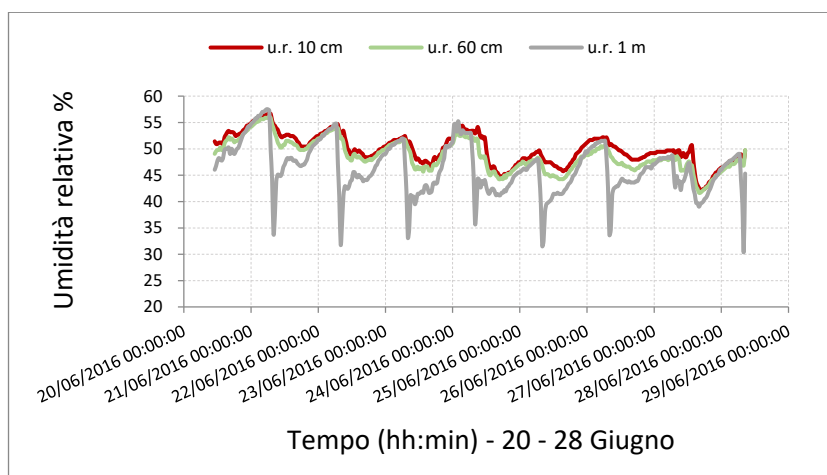


Figura 6.25. Andamento dell'umidità relativa interna a diverse altezze dal pavimento nell'ufficio 5 – soppalco.

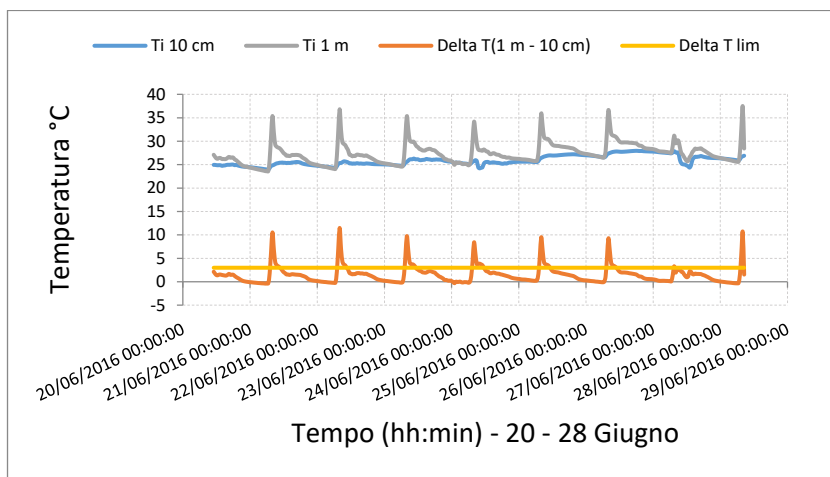


Figura 6.26. Confronto tra la variazione del Delta T livello testa e livello caviglie e il valore limite di 3 °C suggerito dalla normativa (ufficio 5 – soppalco).

f) Ufficio 5 – Piano terra

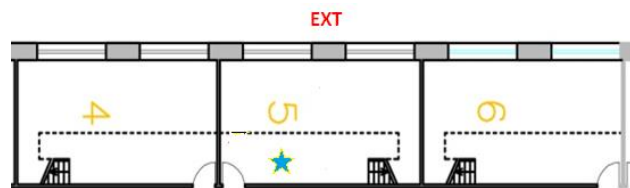


Figura 7. Pianta ufficio 5 – Piano terra. Il posizionamento dei tinytag è indicato dalla stellina celeste.

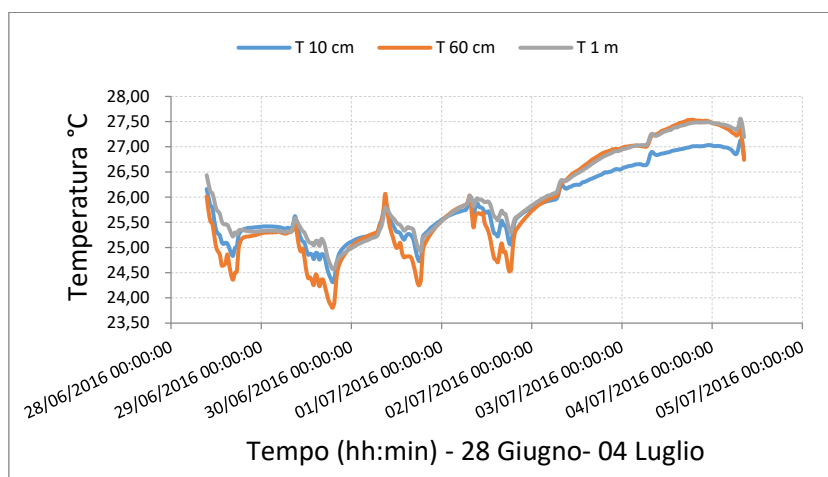


Figura 6.28. Andamento della Temperatura interna a diverse altezze dal pavimento nell'ufficio 5 – piano terra.

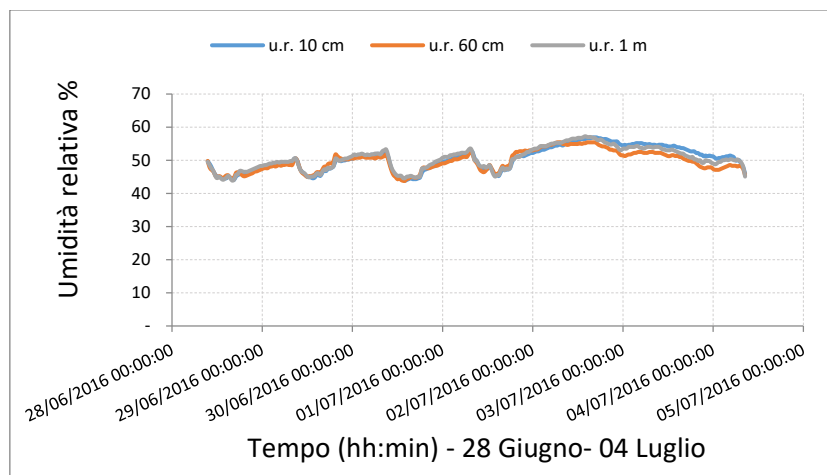


Figura 6.29. Andamento dell'umidità relativa interna a diverse altezze dal pavimento nell'ufficio 5 – piano terra.

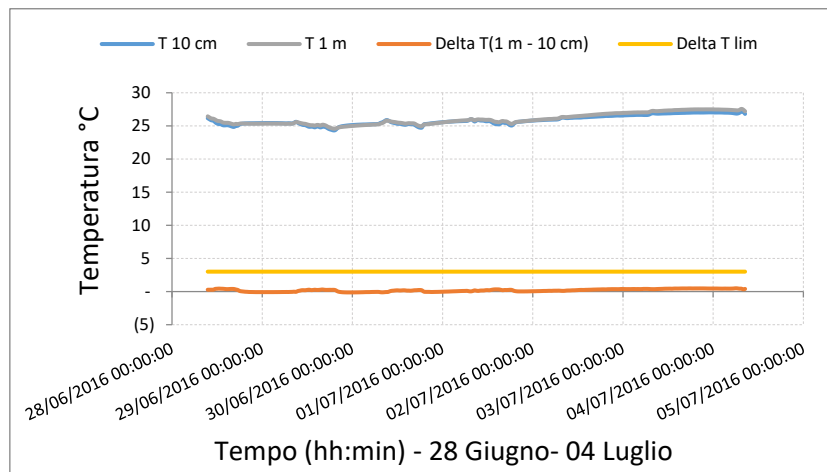


Figura 6.30. Confronto tra la variazione del Delta T livello testa e livello caviglie e il valore limite di 3 °C suggerito dalla normativa (ufficio 5 - piano terra)

g) Ufficio 15



Figura 6.31. Pianta ufficio 15 – Piano terra. Il posizionamento dei Tinytag è indicato dalla stellina celeste.

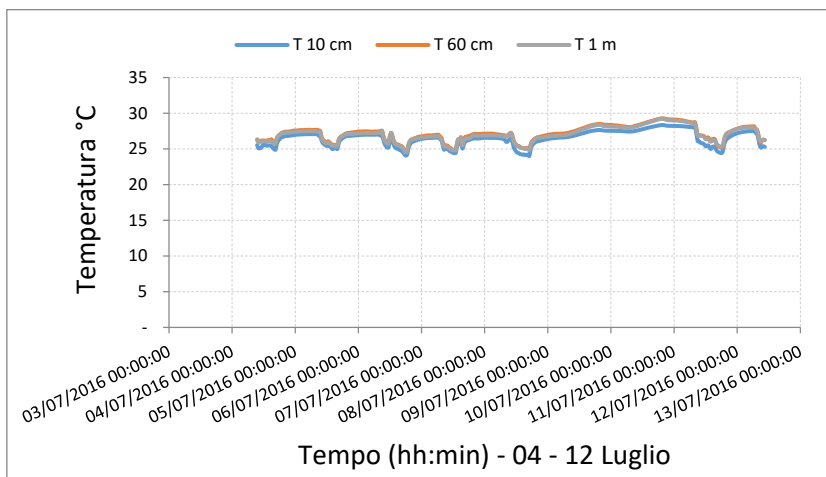


Figura 6.32. Andamento della Temperatura interna a diverse altezze dal pavimento nell'ufficio 15.

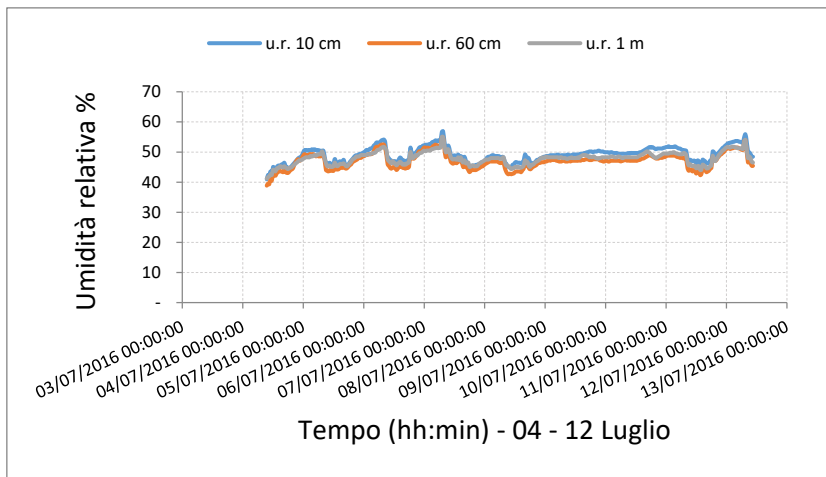


Figura 6.33. Andamento dell'umidità relativa interna a diverse altezze dal pavimento nell'ufficio 15.

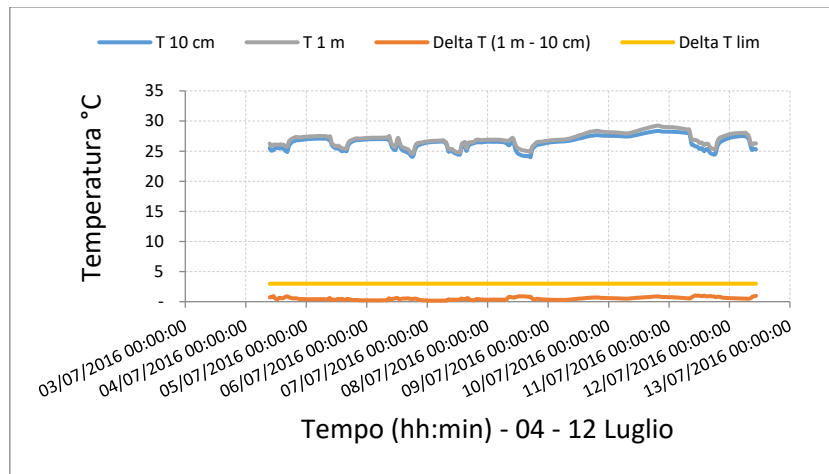


Figura 6.34. Confronto tra la variazione del Delta T livello testa e livello caviglie e il valore limite di 3 °C suggerito dalla normativa (ufficio 15).

h) Ufficio 14



Figura 6.35. Pianta ufficio 14. Il posizionamento dei Tinytag è indicato dalla stellina celeste.

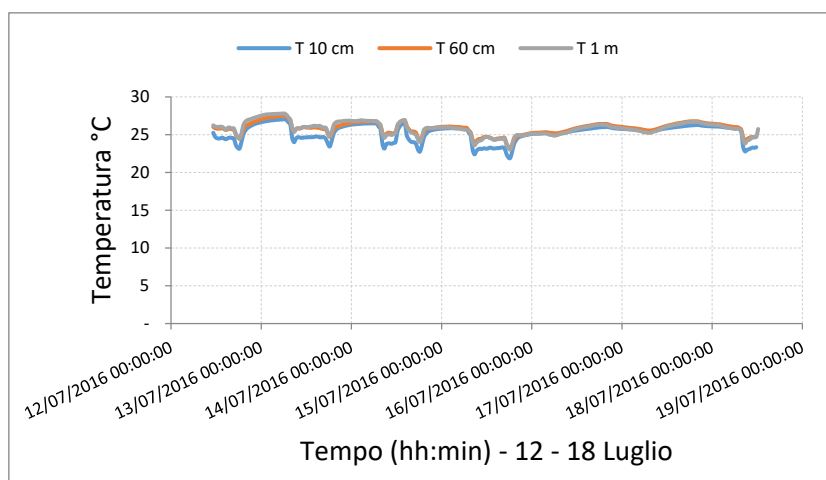


Figura 6.36. Andamento della Temperatura interna a diverse altezze dal pavimento nell'ufficio 14.

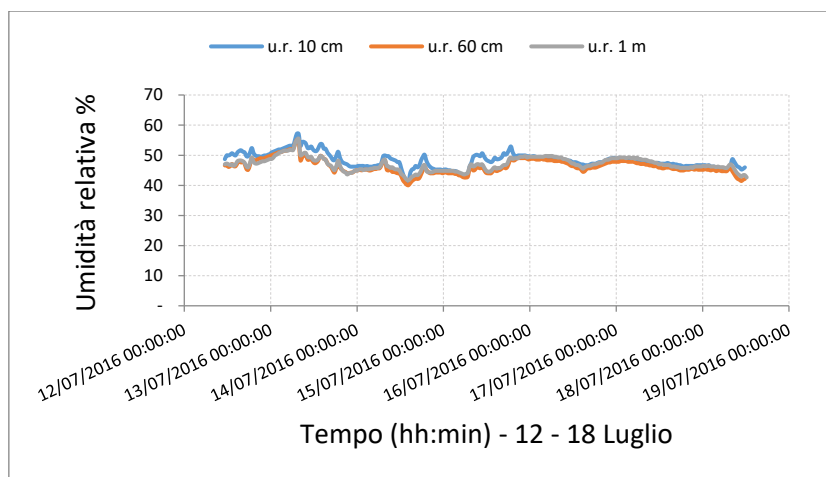


Figura 6.37. Andamento dell'umidità relativa interna a diverse altezze dal pavimento nell'ufficio 14.

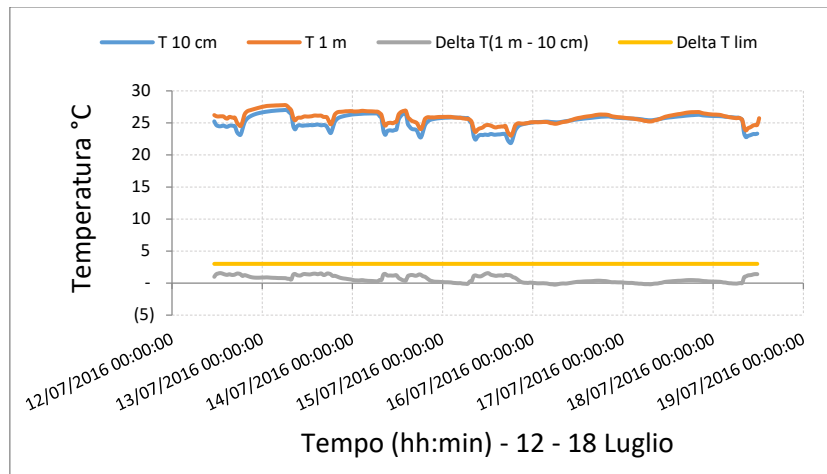


Figura 6.38. Confronto tra la variazione del Delta T livello testa e livello caviglie e il valore limite di 3 °C suggerito dalla normativa (ufficio 14).

i) Ufficio 4 – Piano terra



Figura 6.39. Pianta ufficio 4– Piano terra. Il posizionamento dei Tinytag è indicato dalla stellina celeste.

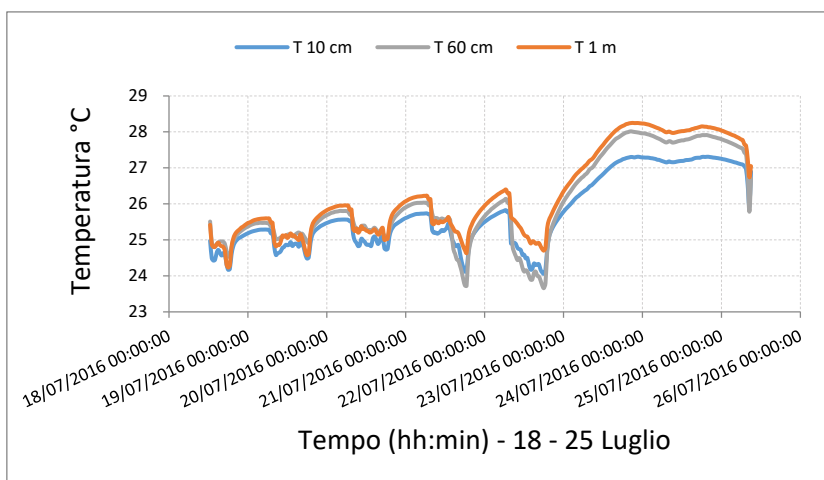


Figura 6.40. Andamento della Temperatura interna a diverse altezze dal pavimento nell'ufficio 4 – piano terra.

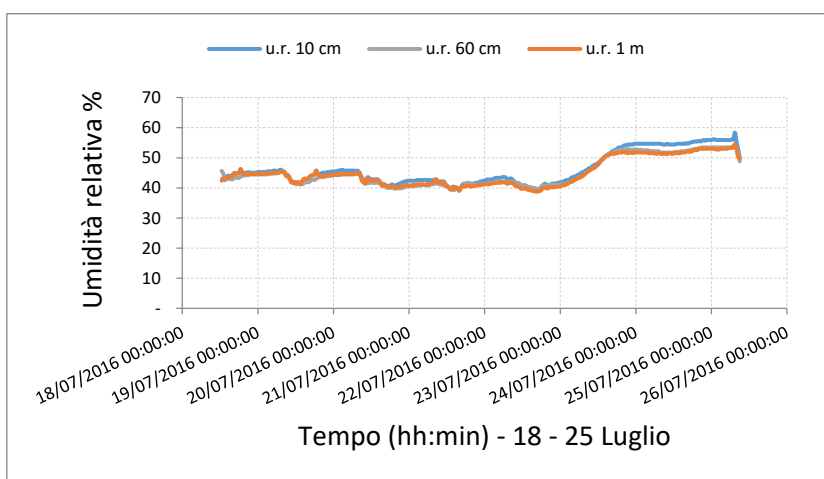


Figura 6.41. Andamento dell'umidità relativa interna a diverse altezze dal pavimento nell'ufficio 4 – piano terra.

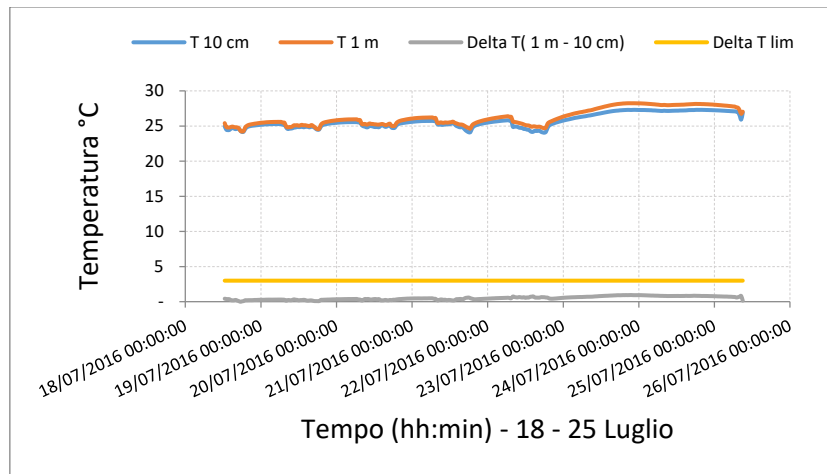


Figura 6.42. Confronto tra la variazione del Delta T livello testa e livello caviglie e il valore limite di 3 °C suggerito dalla normativa (ufficio 4 – piano terra).

j) Ufficio 10

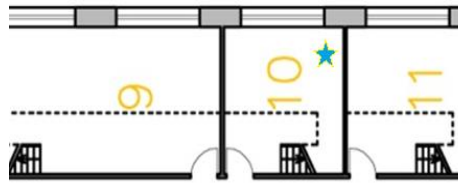


Figura 6.43. Pianta ufficio 10. Il posizionamento dei Tinytag è indicato dalla stellina celeste.

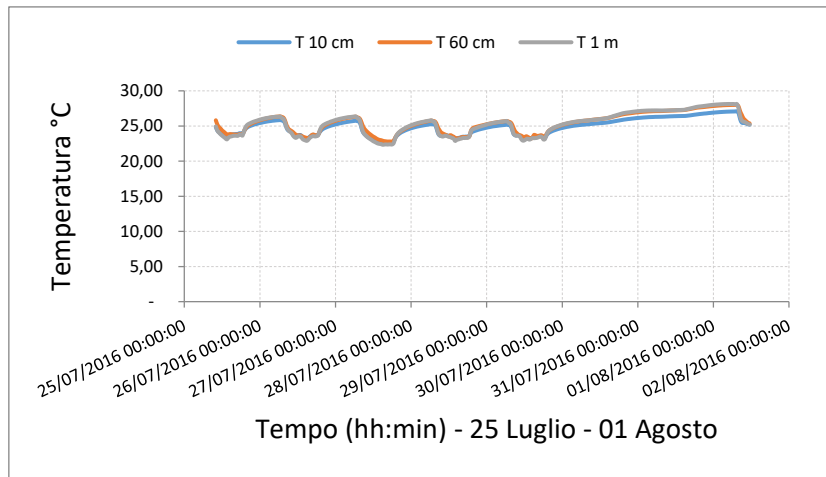


Figura 6.44. Andamento della Temperatura interna a diverse altezze dal pavimento nell'ufficio 10.

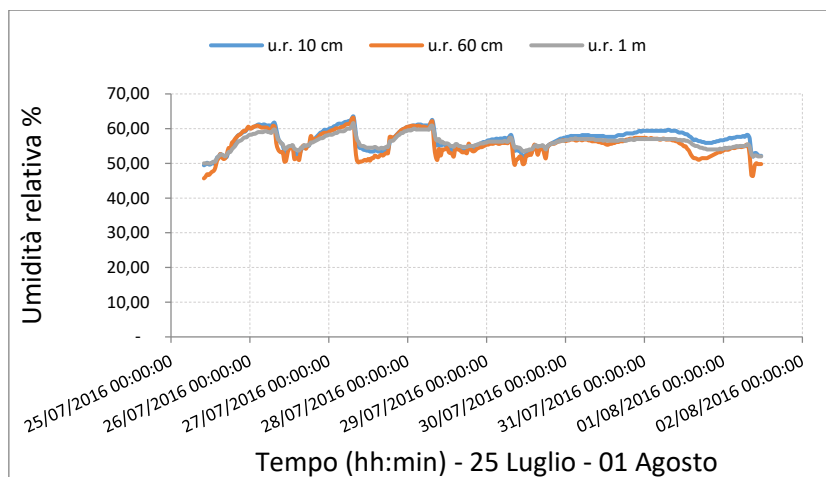


Figura 6.45. Andamento dell'umidità relativa interna a diverse altezze dal pavimento nell'ufficio 10.

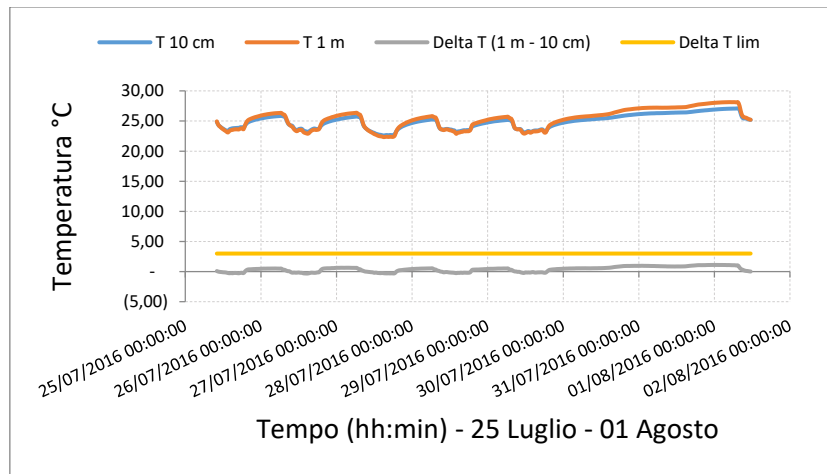


Figura 6.46. Confronto tra la variazione del Delta T livello testa e livello caviglie e il valore limite di 3 °C suggerito dalla normativa (ufficio 10).

6.3 Esito del monitoraggio

L'analisi del monitoraggio microclimatico indoor è stata condotta nell'edificio Sotacarbo nell'arco temporale relativo all'ultima settimana di maggio e al bimestre giugno – luglio. Lo studio ha interessato un totale di 16 ambienti, di cui nello specifico:

- 10 uffici;
- 2 laboratori;
- 1 sala calcolo;
- l'auditorium;
- 2 aule.

Le misure sono state effettuate nelle reali condizioni operative degli ambienti oggetto di studio, con impianto di condizionamento acceso, dal lunedì al venerdì nelle ore lavorative 08:00 – 18:00, e con impianto di condizionamento spento nelle restanti.

Complessivamente, i risultati dei rilievi strumentali negli ambienti analizzati, con l'impianto di climatizzazione acceso, forniscono valori medi dell'indice PMV che ricadono nell'intervallo di "benessere termico" $-0,5 < PMV < +0,5$ suggerito dalla normativa ISO 7730. Globalmente, si osserva che, le condizioni di comfort termico all'interno di questi ambienti sono garantite.

È appena il caso di evidenziare, come, in orario non lavorativo, il mancato condizionamento degli ambienti di interesse - siano essi soppalcati o meno - ne determini un basso livello di confort. Nello specifico, le cause di tale condizione sono da ricercarsi nell'esposizione diretta alla radiazione solare degli ambienti sopra citati.

Unitamente all'analisi delle condizioni di comfort globali, sono state eseguite, in specifici ambienti, delle indagini relative al discomfort locale dovuto alla non uniformità delle variabili ambientali, temperatura e umidità relativa interna.

Attraverso le misure di queste ultime variabili, valutate alla quota di: 10 cm, 60 cm e 1 m dal pavimento - distanze che corrispondono, per una persona seduta, rispettivamente a livello delle caviglie, livello delle ginocchia e livello della nuca - è stato possibile confrontare il gradiente verticale della temperatura dell'aria tra i livelli 1 m e 10 cm ($\Delta T(1\text{ m} - 10\text{ cm})$) con il valore limite suggerito dalla normativa ($\Delta T_{\text{lim}} = 3^\circ\text{C}$).

Dai risultati ottenuti è emerso che, per tutti gli ambienti monitorati, questo limite è sempre rispettato. Tuttavia, si specifica che nell'ufficio 5, zona soppalco, nell'arco temporale relativo alla settimana 20 – 28 giugno si registrano, alle ore 08:00, corrispondente all'orario di accensione del sistema di raffrescamento, valori di $\Delta T(1\text{ m} - 10\text{ cm})$ superiori ai 3°C , con picchi di circa 10°C .

7 Conclusioni

Il presente lavoro approfondisce e analizza la qualità globale degli ambienti interni negli edifici. Diversi sono gli obiettivi: studiare i parametri che definiscono la qualità di un ambiente interno, studiare le metodologie di indagine in funzione degli obiettivi delle analisi ed infine analizzare l'influenza degli occupanti nella gestione dei parametri indoor. In particolare sono state approfondite tematiche di qualità dell'aria, ventilazione, salubrità, efficienza energetica ed impiantistica in un edificio pubblico storico ad uso uffici e in edifici pubblici ad uso scolastico.

Le attività previste costituiscono una base finalizzata alla caratterizzazione del patrimonio edilizio pubblico insistente sulla Regione Sardegna, e allo sviluppo di una metodologia per interventi di efficienza energetica in edifici vincolati nel territorio del Sulcis.

L'indagine è stata condotta nel Comune di Carbonia in due edifici pubblici ad uso scolastico, sedi di due scuole primarie e in un edificio storico ad uso ufficio, ospitante il Centro Ricerche Sotacarbo. Le rilevazioni sono state svolte nel periodo di marzo-luglio e sono state eseguite sia in ambiente "occupato", che in ambiente "vuoto". Gli ambienti oggetto dello studio sono stati attrezzati con centraline di misura dotate di sensori di microclima interno (in termini di temperatura, umidità, concentrazione di CO₂) e con centraline con sensori di misura Tinytag. Sulla base dei dati raccolti si sono verificate le risposdenze dei parametri di comfort microclimatico e si sono determinati gli indici PMV e PPD relativi alla qualità dell'aria interna e al comfort termico. Tale studio stabilisce una baseline in vista della riqualificazione energetica dell'edificio.

Per quanto riguarda gli edifici scolastici, l'affollamento è risultato basso e lo spazio a disposizione per ciascun alunno è di gran lunga superiore al valore 1,8 m²/alunno previsti dal DM 18/12/75, per cui i locali sono definibili come "non affollati". Anche la superficie finestrata presente in ogni locale è adeguata, anche in questo caso superiore al valore di 1/8. Ciononostante, come si può riscontrare dai valori misurati, in quasi tutti i locali l'illuminazione è stata rilevata evidentemente disomogenea: nella maggior parte dei locali di entrambi gli edifici sono emersi valori d'illuminamento elevati in prossimità della finestra che decrescono notevolmente dirigendosi verso il lato opposto.

Nel primo edificio oggetto di studio, la scuola primaria "Is Gannaus", la temperatura rientra nei limiti accettabili, con valori leggermente superiori a quelli di riferimento : nelle aule la temperatura media radiante è stata registrata mediamente pari a valori di circa 24° C. Nell'edificio "Is Meis", invece i valori registrati rientrano pienamente nell'intervallo di riferimento (20 ± 2 ° C), tranne che per le aule 2 e 4, in cui la temperatura media radiante è stata leggermente superiore, con punte di 25 °C.

L'umidità relativa, nella scuola primaria "Is Gannaus", rientra nei limiti previsti dal DM 18/12/75. Se si prendono in riferimento i parametri previsti dalle Linee Guida ISPESL, però, le aule presentano valori leggermente superiori agli standard di riferimento (considerando gli standard invernali, visto il periodo di campionamento). I valori misurati nell'edificio "Is Meis", di contro, sono al limite o superiori a quanto previsto dalla normativa.

In tutti entrambi gli edifici scolastici analizzati, i valori della velocità assoluta dell'aria sono inferiori ai 0,10 m/s previsti come standard di riferimento.

Un punto molto importante da sottolineare per quanto riguarda la salubrità dell'aria è quello sulla presenza di anidride carbonica in concentrazioni elevate: in tutti i locali in cui è stata eseguita la misurazione della concentrazione di CO₂, questa è risultata bel oltre i 1500 ppm, evidenziando la mancanza in entrambi gli edifici di un sistema di circolazione forzata dell'aria o di ricambi sussidiari adeguati.

I valori di PMV e PPD rientrano, in tutti e due gli edifici scolastici, nell'intervallo di "ambienti termicamente accettabili". La percentuale di insoddisfatti è normalmente inferiore al 20%.

L'analisi del monitoraggio microclimatico indoor nell'edificio Sotacarbo ha interessato un totale di 16 ambienti di lavoro.

Le misure sono state effettuate nelle reali condizioni operative degli ambienti oggetto di studio, con impianto di condizionamento acceso, dal lunedì al venerdì nelle ore lavorative 08:00 – 18:00, e con impianto di condizionamento spento nelle restanti.

Complessivamente, i risultati dei rilievi strumentali negli ambienti analizzati, con l'impianto di climatizzazione acceso, forniscono valori medi dell'indice PMV che ricadono nell'intervallo di "benessere termico" $-0,5 < PMV < +0,5$ suggerito dalla normativa ISO 7730. Globalmente, si osserva che, le condizioni di comfort termico all'interno di questi ambienti sono garantite.

Unitamente all'analisi delle condizioni di comfort globali, sono state eseguite, in specifici ambienti, delle indagini relative al discomfort locale dovuto alla non uniformità delle variabili ambientali, temperatura e umidità relativa interna.

Attraverso le misure di queste ultime variabili è stato possibile confrontare il gradiente verticale della temperatura dell'aria con il valore limite suggerito dalla normativa. Dai risultati ottenuti è emerso che, per tutti gli ambienti monitorati, questo limite è quasi sempre rispettato.

8 Riferimenti bibliografici

1. Corgnati, S.P., Filippi, M., Maga, C., Energy certification of existing building: comparison between actual and calculated energy demand for space heating, CLIMAMED 2005 International Conference, Madrid, Spagna, 23-25 Febbraio 2005.
2. De Dear, Richard J. And Brager, Gail Schiller. 1998. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. ASHRAE Transactions, v 104, n Pt 1A, p 145-167, 1998
3. Alfano et al., 2004
4. Fanger P.O. 1982. Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering. R.E. Krieger Pub. Co.
5. Brager, G.S. and De Dear, R.J. 2000. A standard for natural ventilation. ASHRAE Journal, v 42, n 10, p 21-23+25-28
6. Johner, Wyon, Clausen and Fanger (2004). Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance. Indoor Air Journal 14 (Suppl.7): 74-81.
7. Fang, Roulet, Oostra and Foradini (2005). Correlations between SBS, perceived comfort, energy use and other building characteristics in European office and residential buildings. Proceedings of Indoor Air 2005.
8. Sundell J. 2004. The history of indoor air quality and health. Indoor Air 14 (Suppl 14). pp. 51-58.
9. Melikov A.K., Cermak R. and Mayer M. 2002. Personalized ventilation: evaluation of different air terminal devices, Energy and Buildings, Vol. 34, pp. 829–836.
10. Melikov A.K. 2004. Personalized ventilation. Indoor Air, Vol. 14, Supplement 7, pp. 157-167.
11. Bekö G., Halàs O., Clausen G. and Weschler C.J. 2006. Initial studies of oxidation processes on filter surfaces and their impact on perceived air quality. Indoor Air 2006, Vol. 16, pp. 56–64.
12. Carletti C. 2008. Benessere Visivo Ed Illuminotecnico. Materiale didattico.



Ricerca di Sistema elettrico

Studio sperimentale del microclima interno in edifici pubblici del Sulcis.

Allegato 1: Parametri ambientali Is Gannaus

C. Frau, E. Loria, A. Madeddu, F. Poggi

a) Aula 1 – Centralina 3

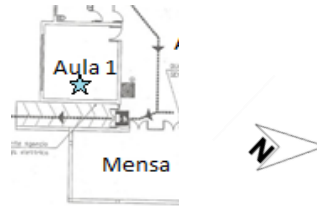
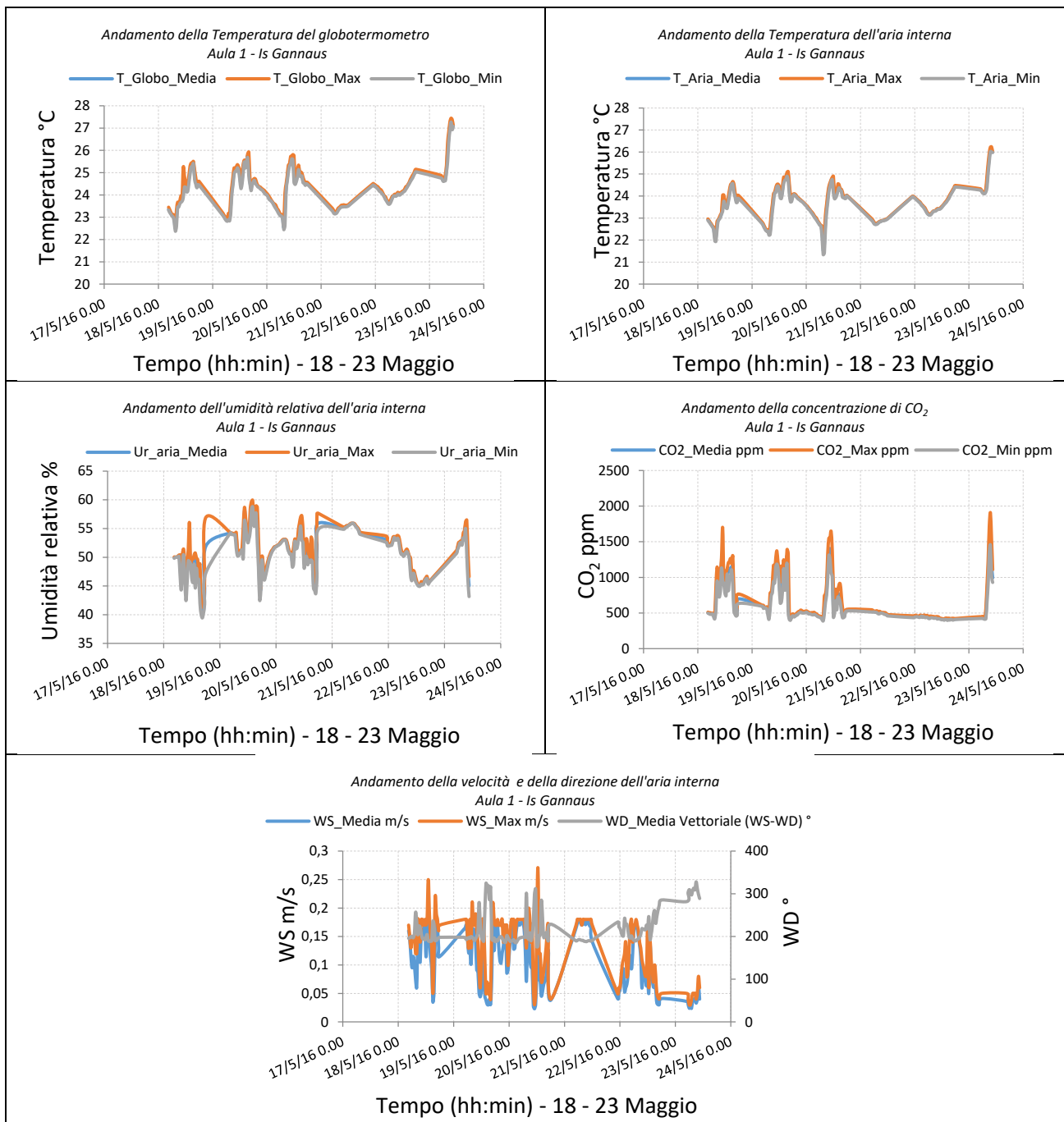


Figura 8.a Pianta Aula 1. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



b) Aula 2 – Centralina 3

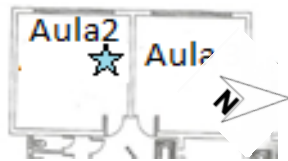
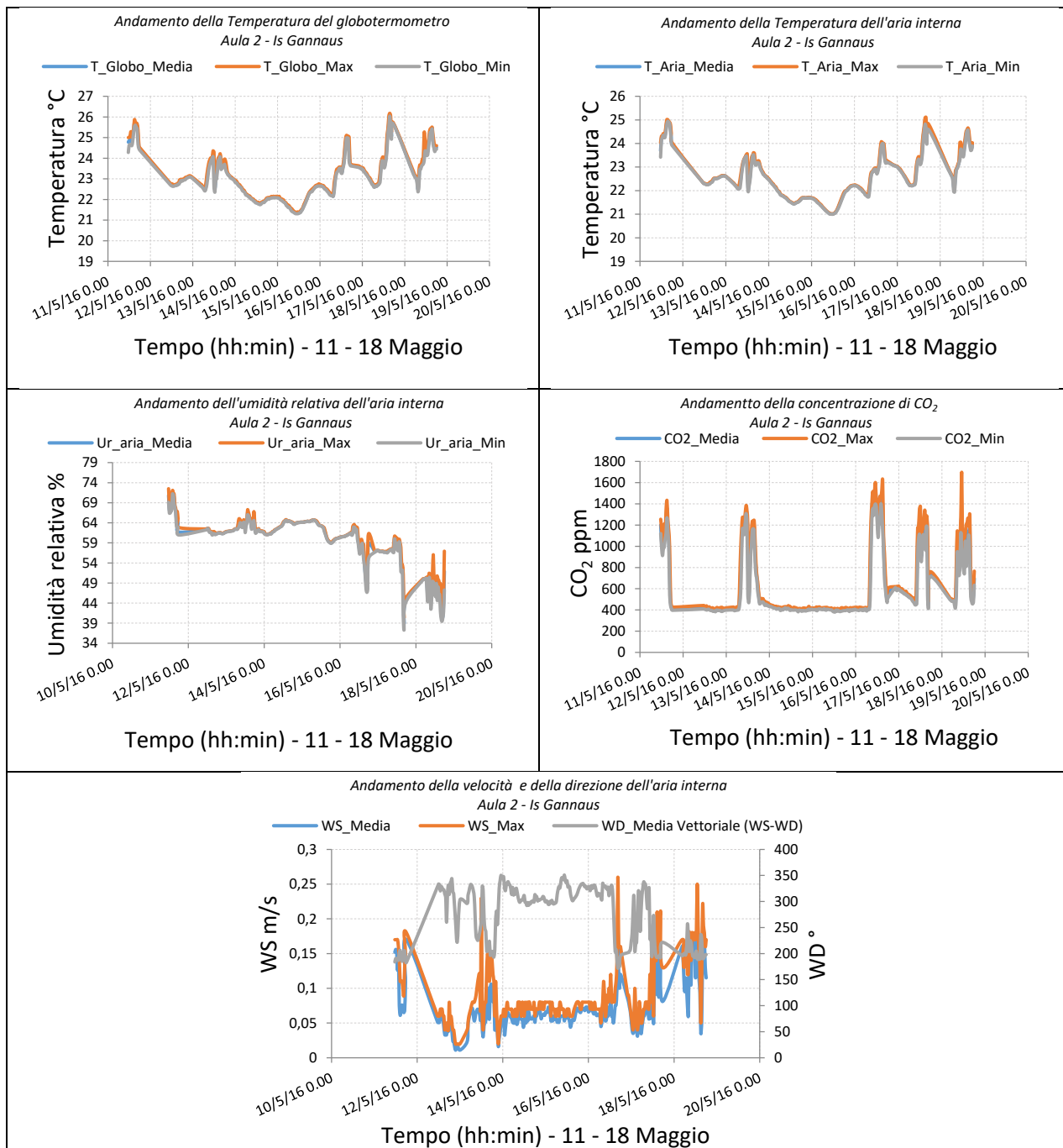


Figura 1.b. Pianta Aula 2. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



c) Aula 4 – Centralina 1

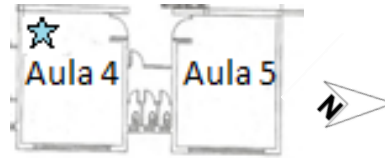
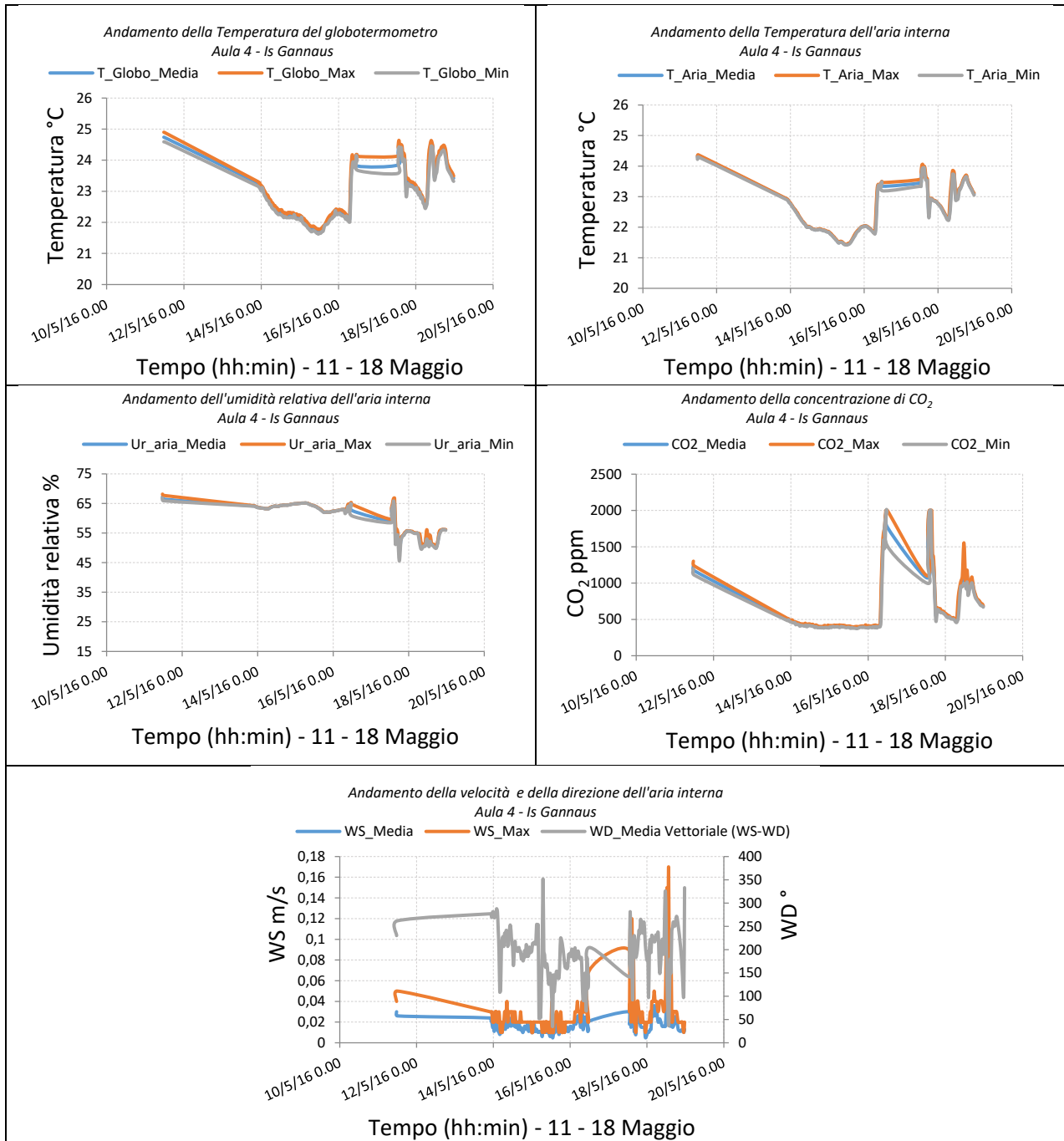


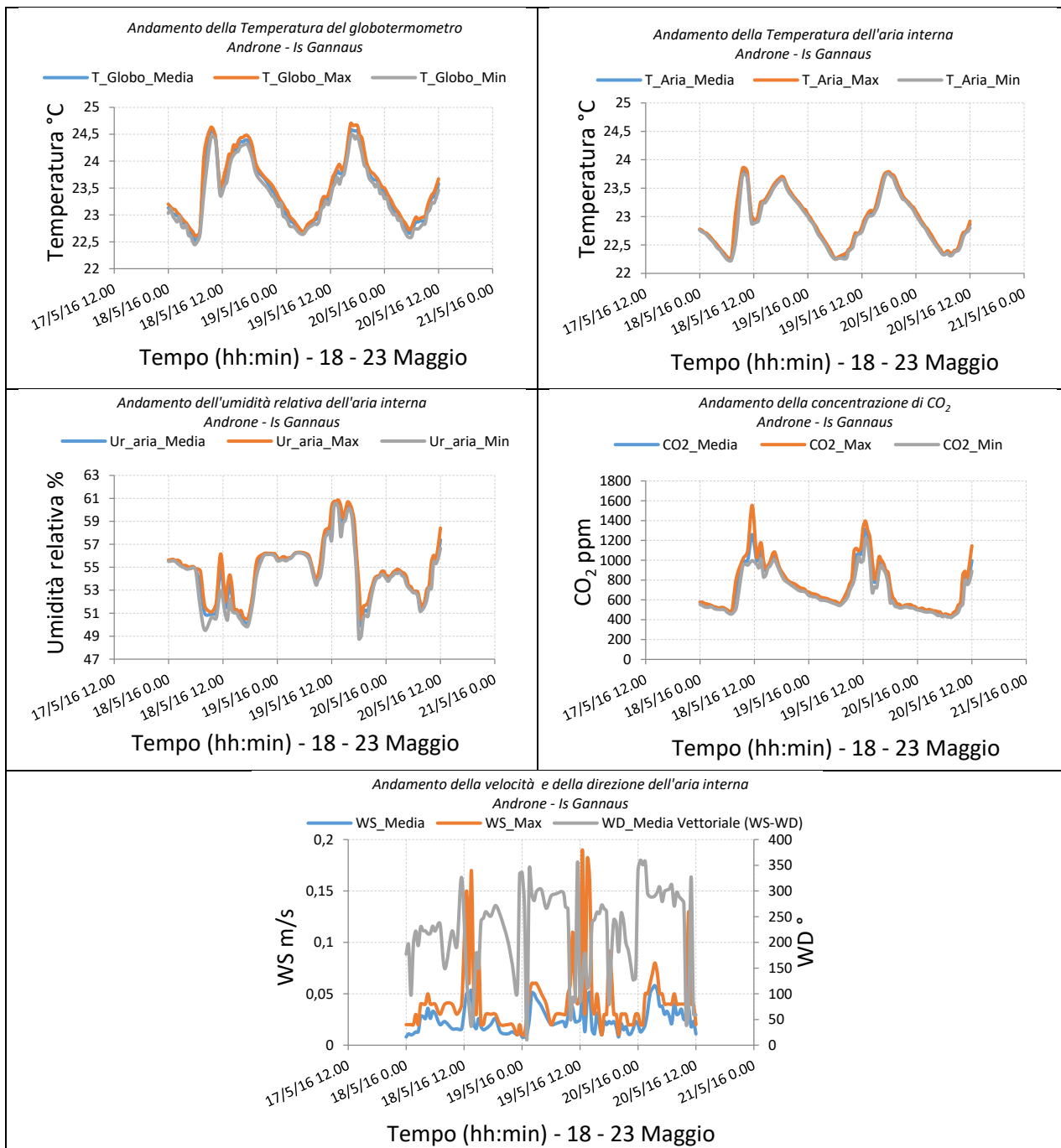
Figura 1.c Pianta Aula 4. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



d) Androne – Centralina 1



Figura 1.d. Pianta Androne. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.





Ricerca di Sistema elettrico

Studio sperimentale del microclima interno in edifici pubblici del Sulcis.

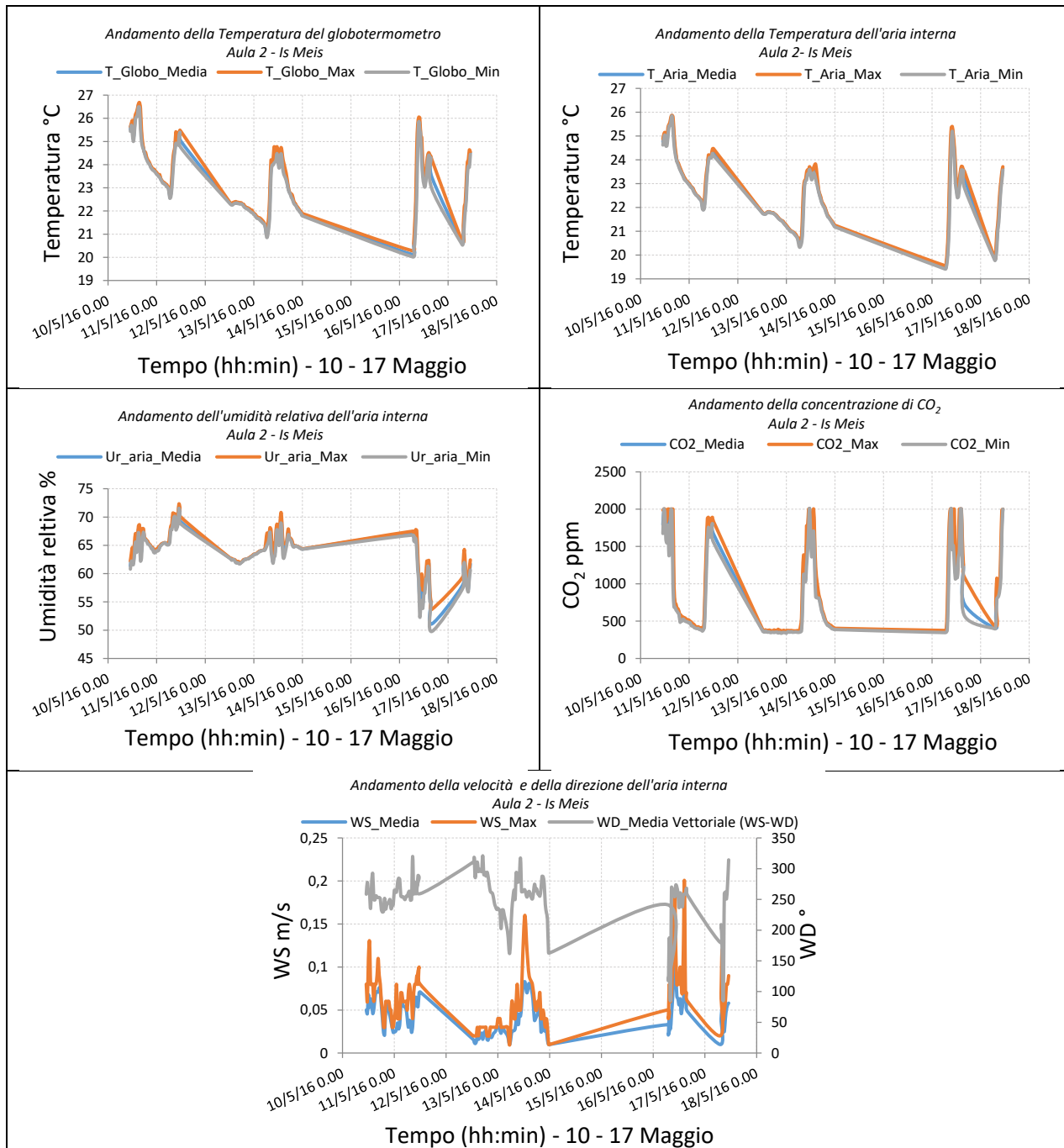
Allegato 2: Parametri ambientali Is Meis

C. Frau, E. Loria, A. Madeddu, F. Poggi

a) Aula 2 – Centralina 2



Figura 2.a. Pianta Aula 2. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



b) Aula 3 – Centralina 4

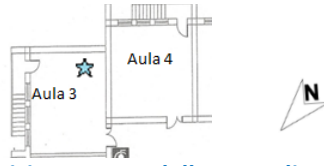
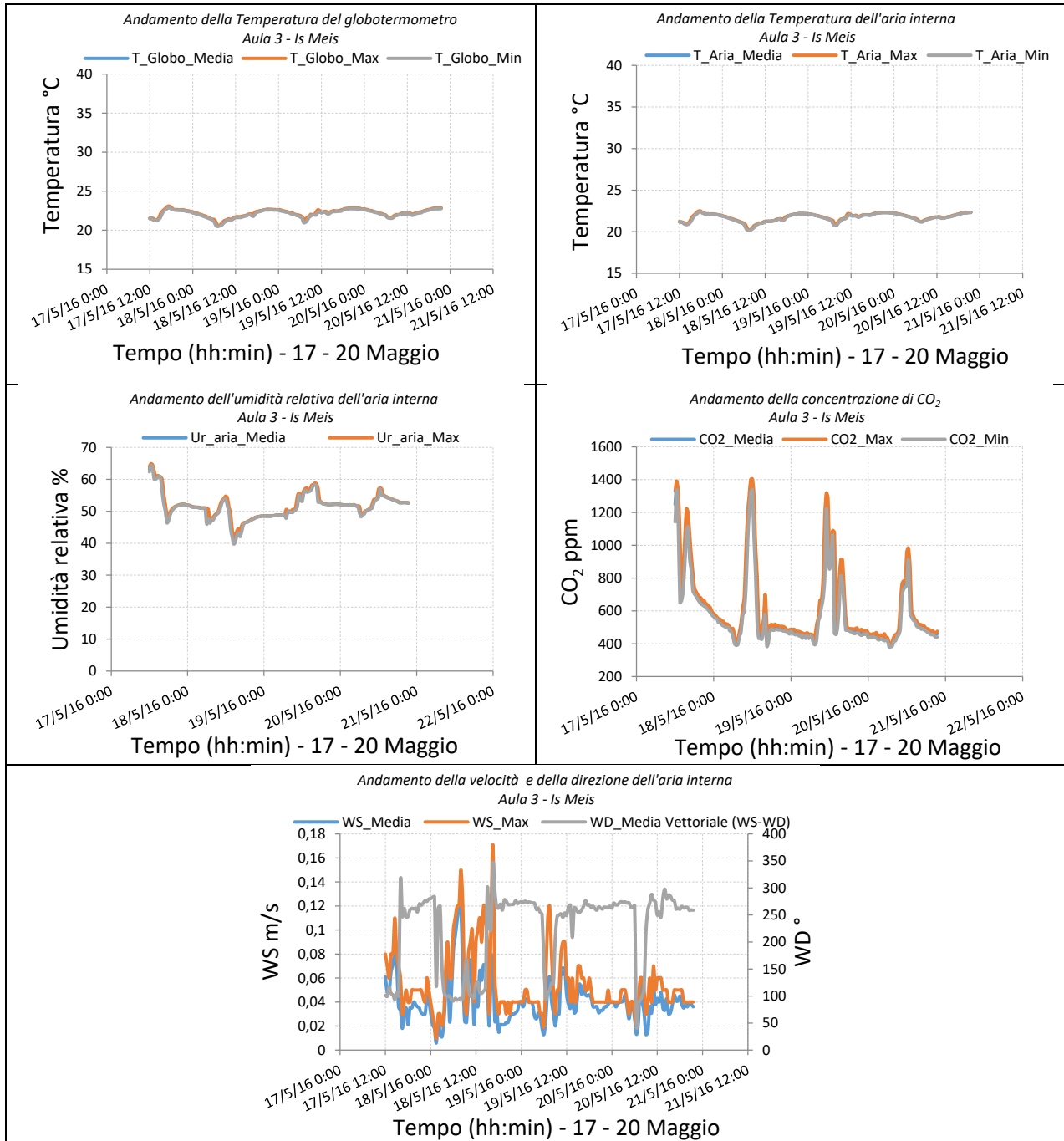


Figura 9.b. Pianta Aula 3. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



c) Aula 4 – Centralina 2

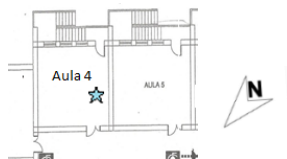
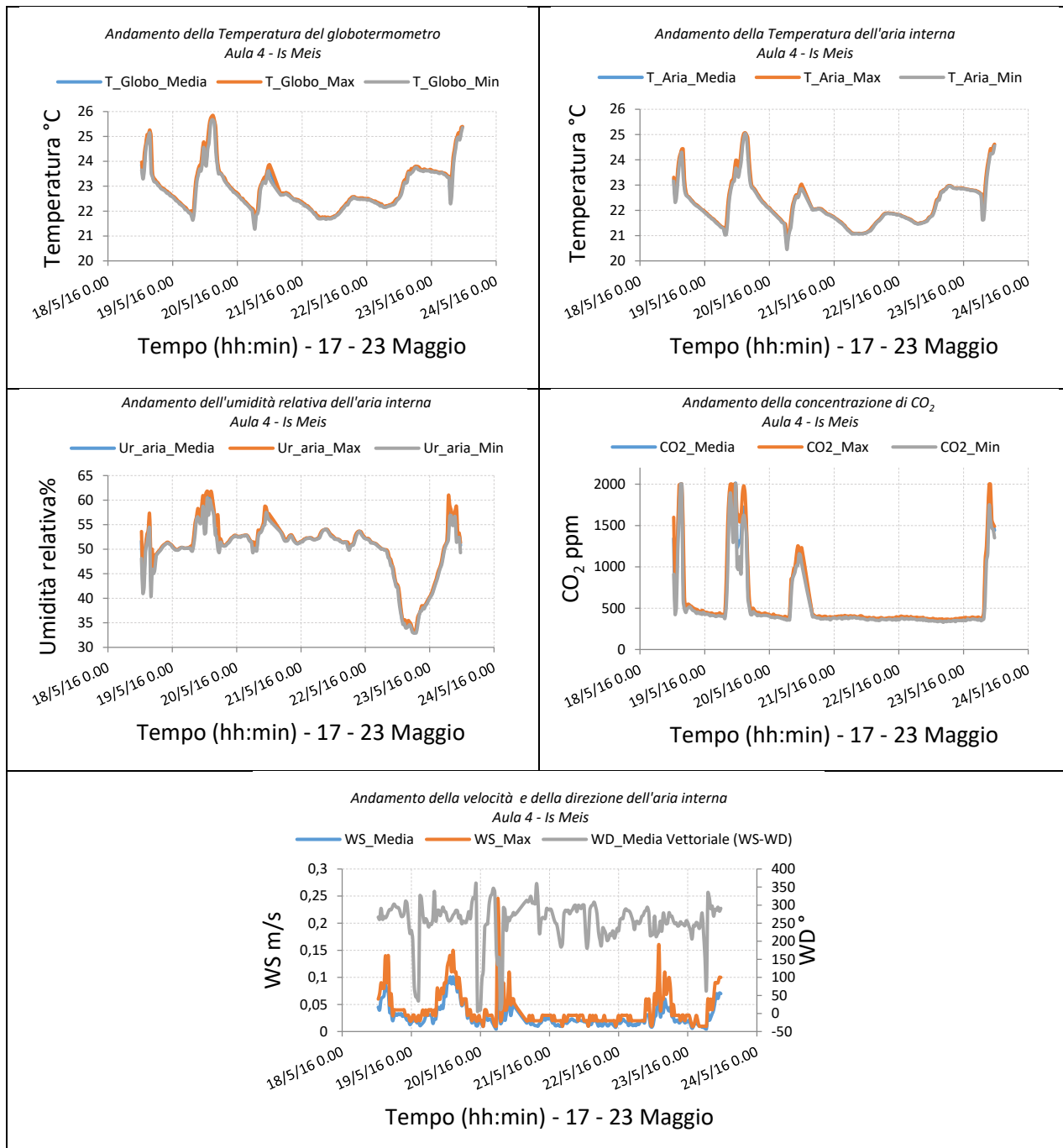


Figura 2.c. Pianta Aula 4. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



d) Aula 6 – Centralina 4

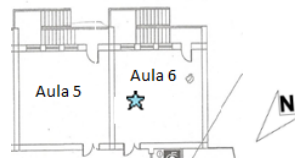
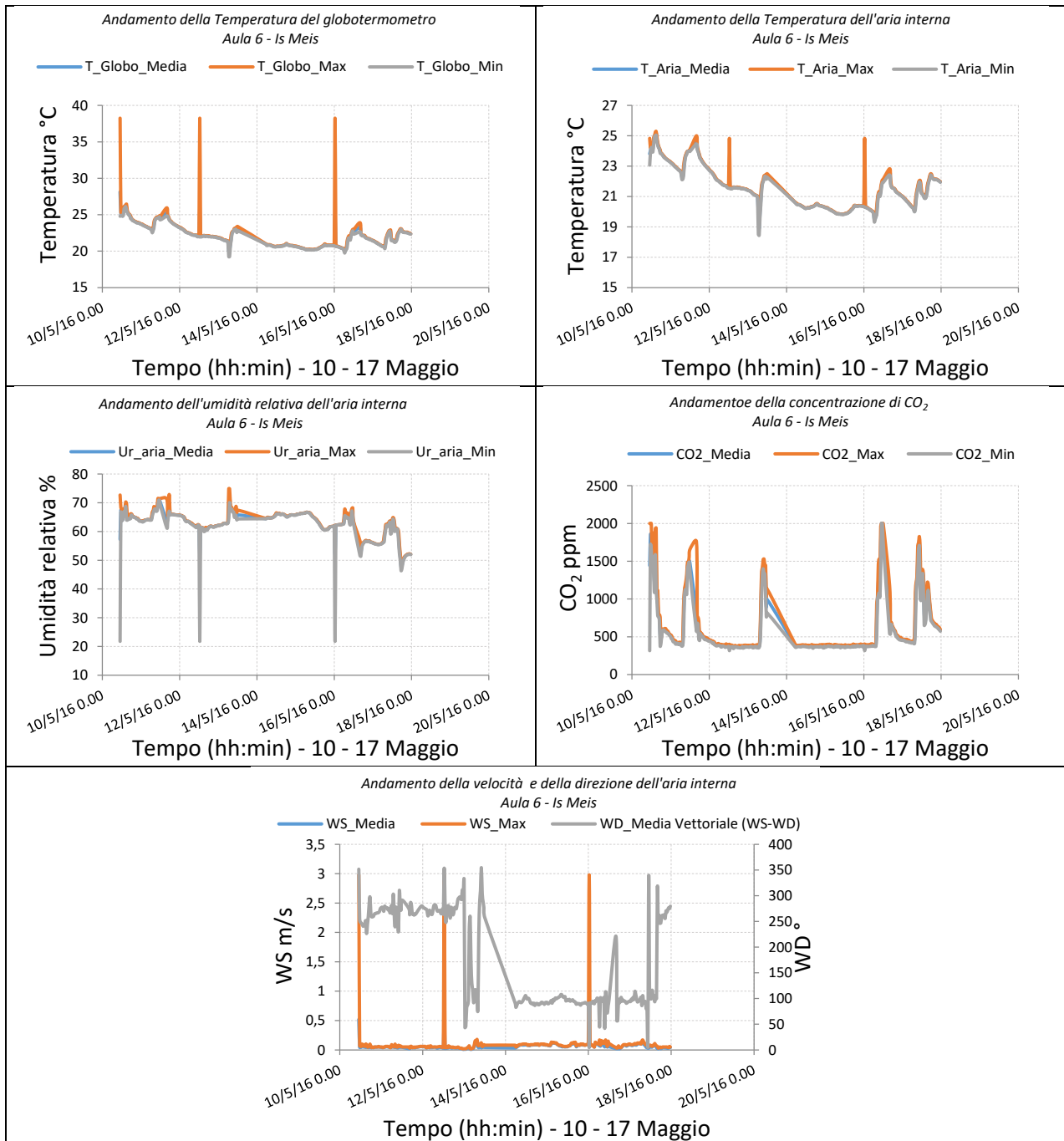


Figura 2.d. Pianta Aula 6. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



e) Androne – Centralina 5

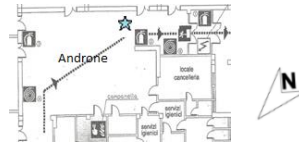
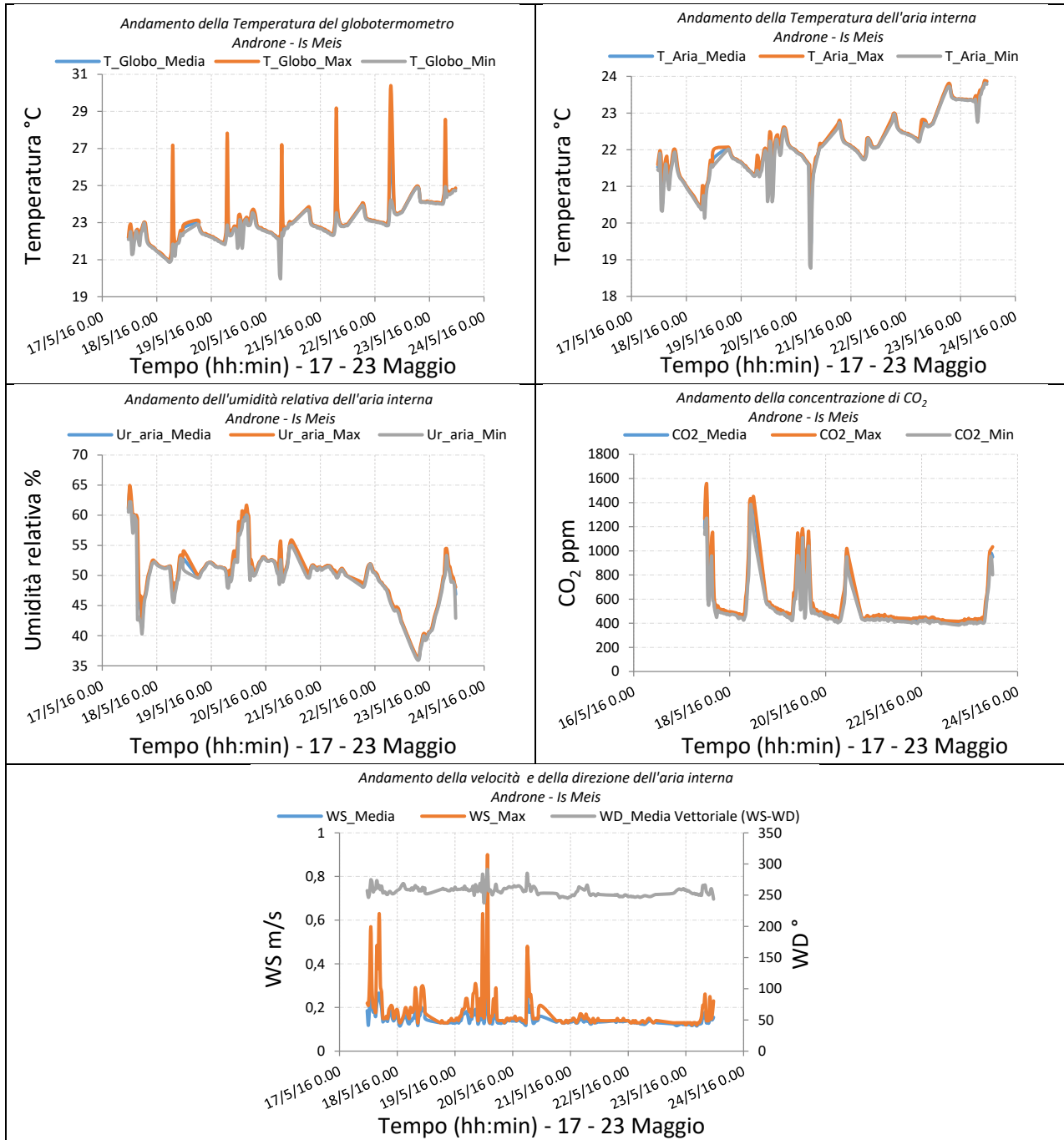


Figura 2.e. Pianta Androne. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.





Ricerca di Sistema elettrico

Studio sperimentale del microclima interno in edifici pubblici del Sulcis.

Allegato 3: Parametri ambientali CRS

C. Frau, E. Loria, A. Madeddu, F. Poggi

Grafici relativi alle misurazioni dei parametri ambientali

Periodo 24 – 30 Maggio

8.1 Ufficio 6 – Piano terra – Centralina 2

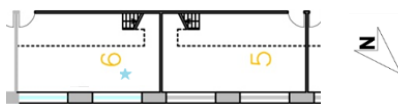
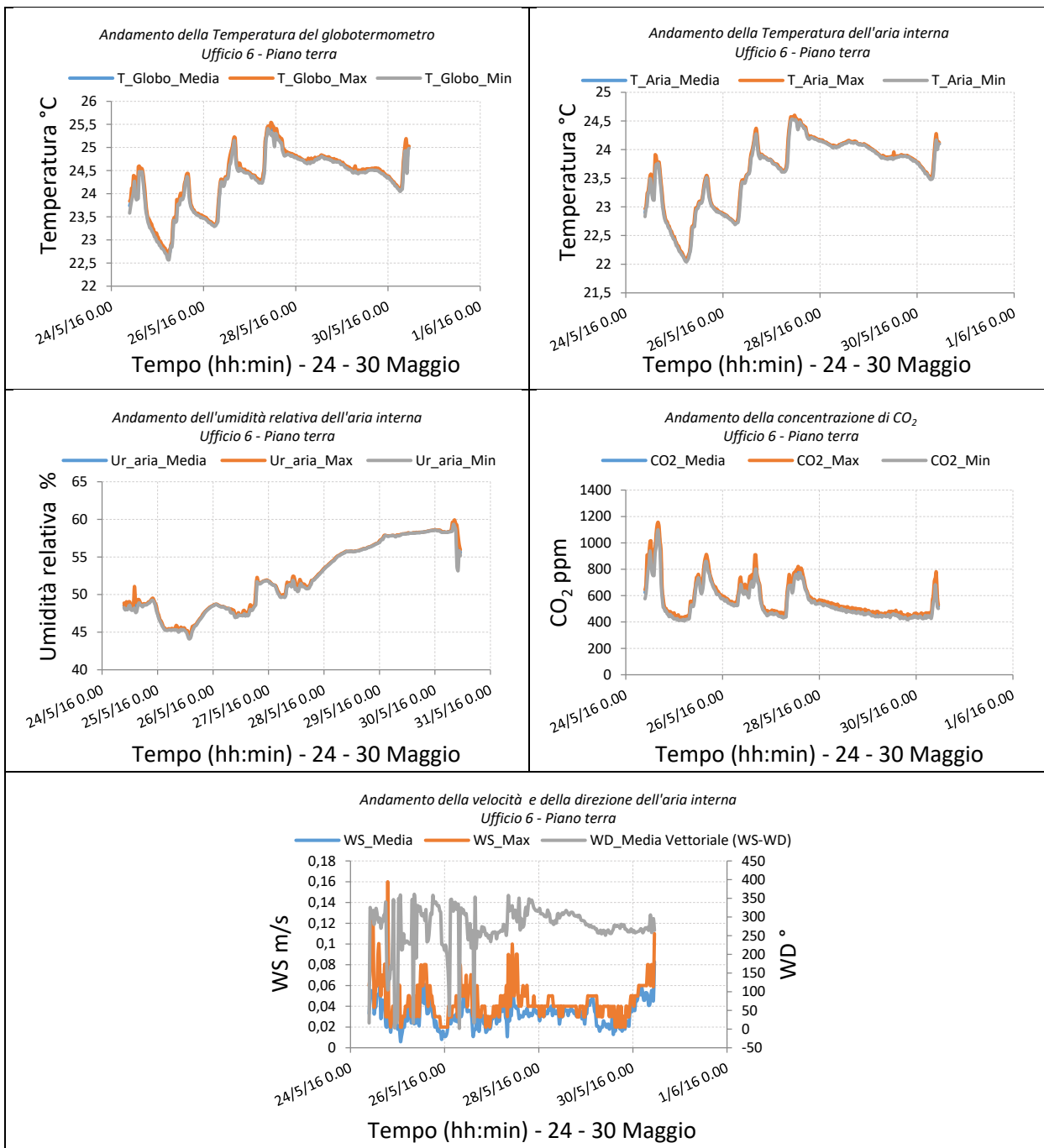


Figura 10.1. Pianta ufficio 6 – piano terra. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.

8.2 Ufficio 6 – Soppalco – Centralina 3



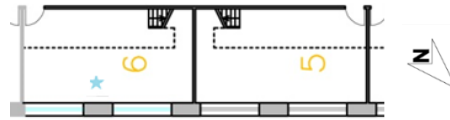
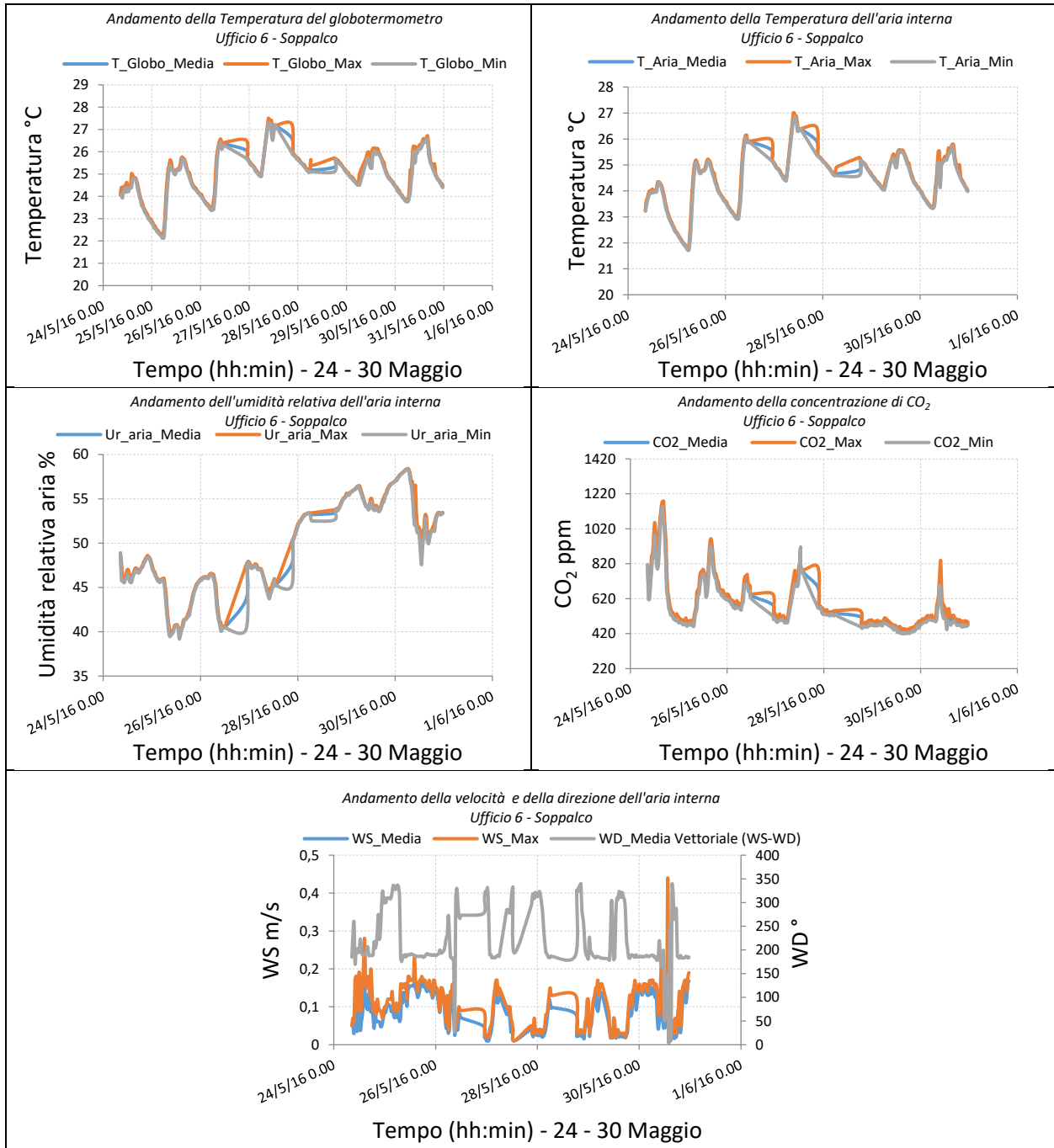


Figura 1.2. Pianta ufficio 6 – soppalco. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



8.3 Ufficio 8 – Piano terra – Centralina 1

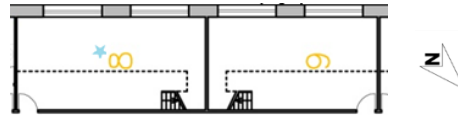
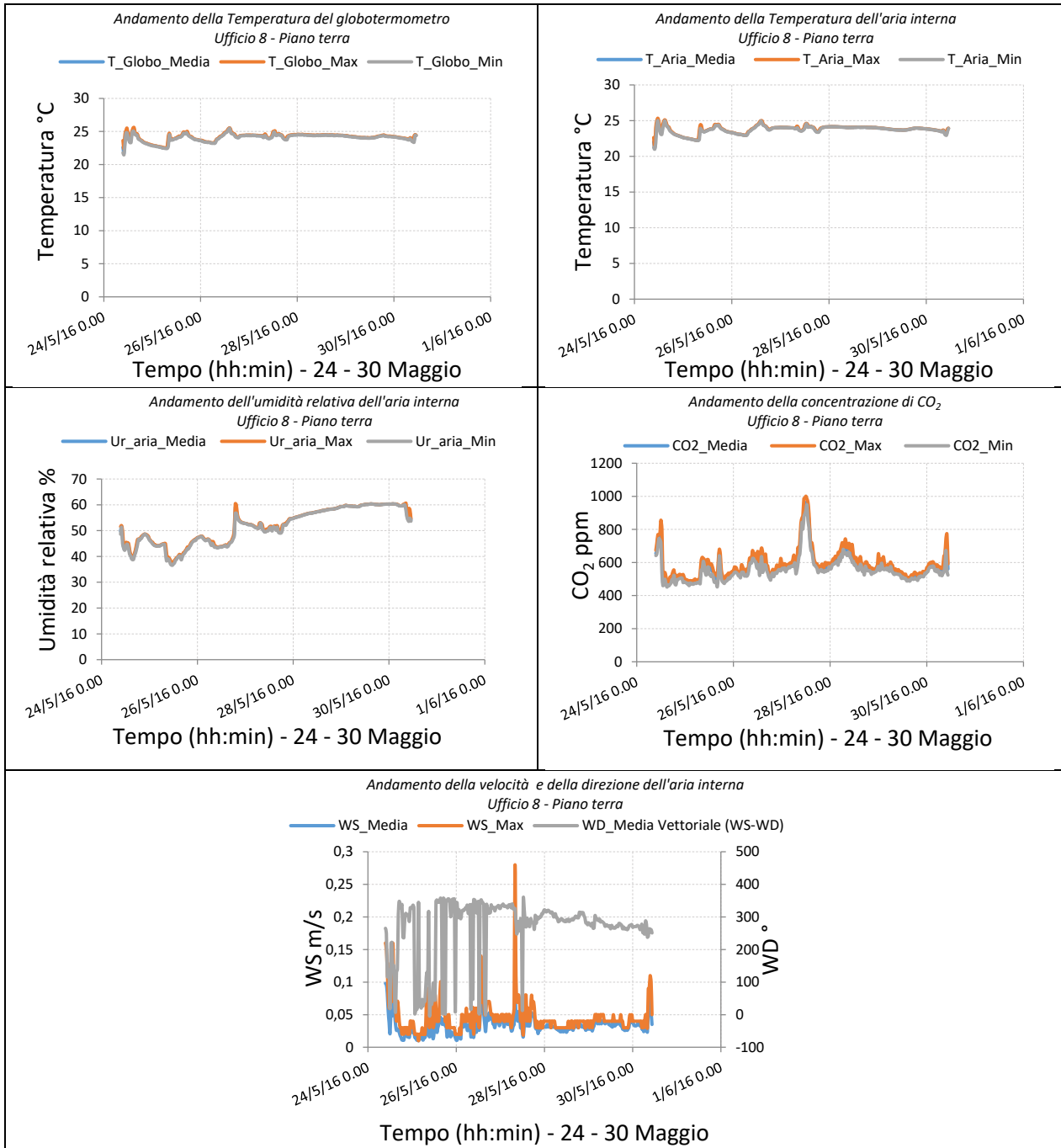


Figura 1.3. Pianta ufficio 8 - piano terra. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



8.4 Ufficio 8 – Soppalco – Centralina 5

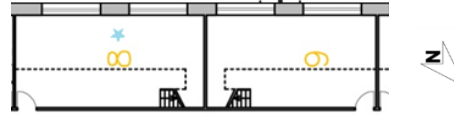
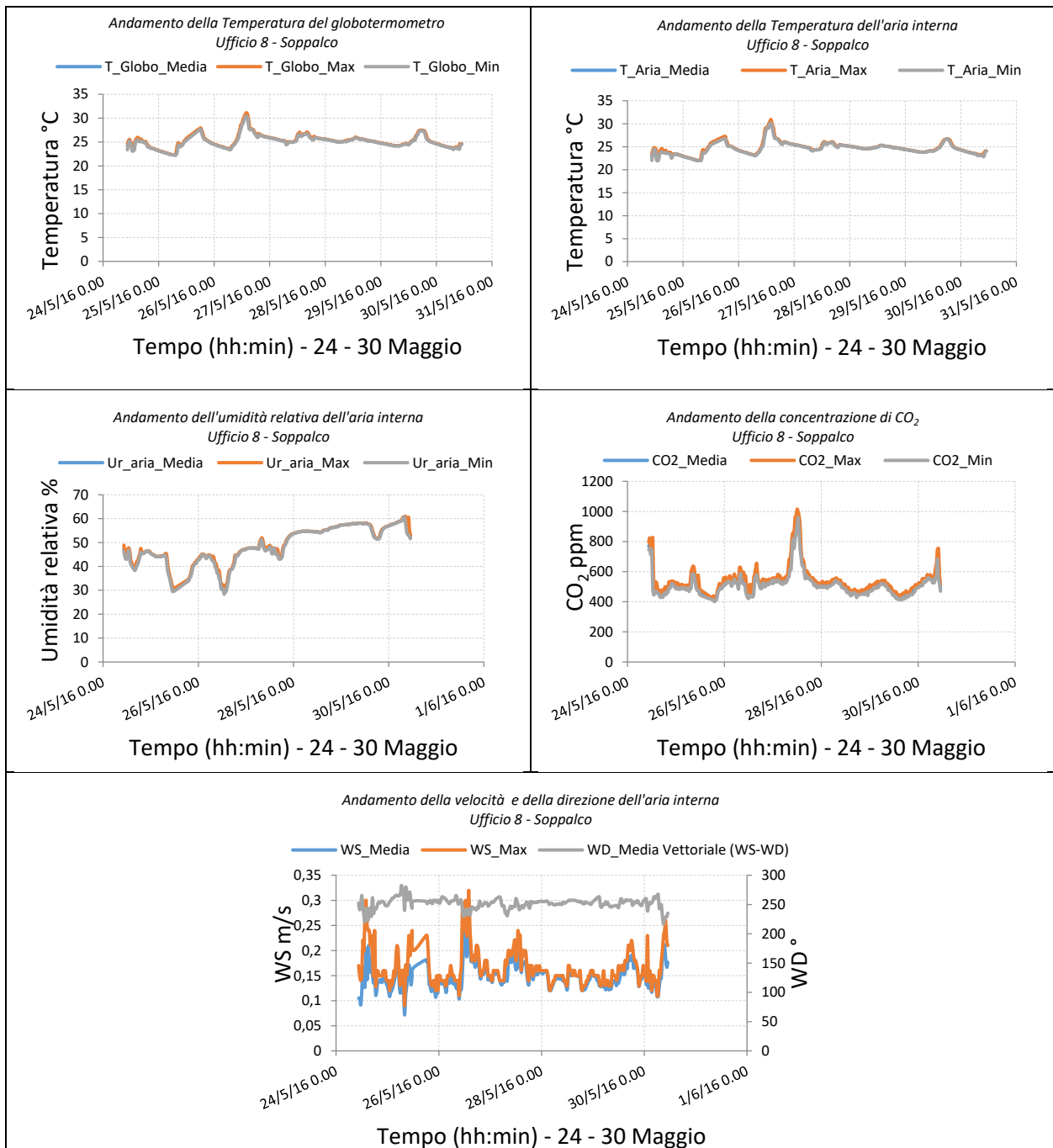


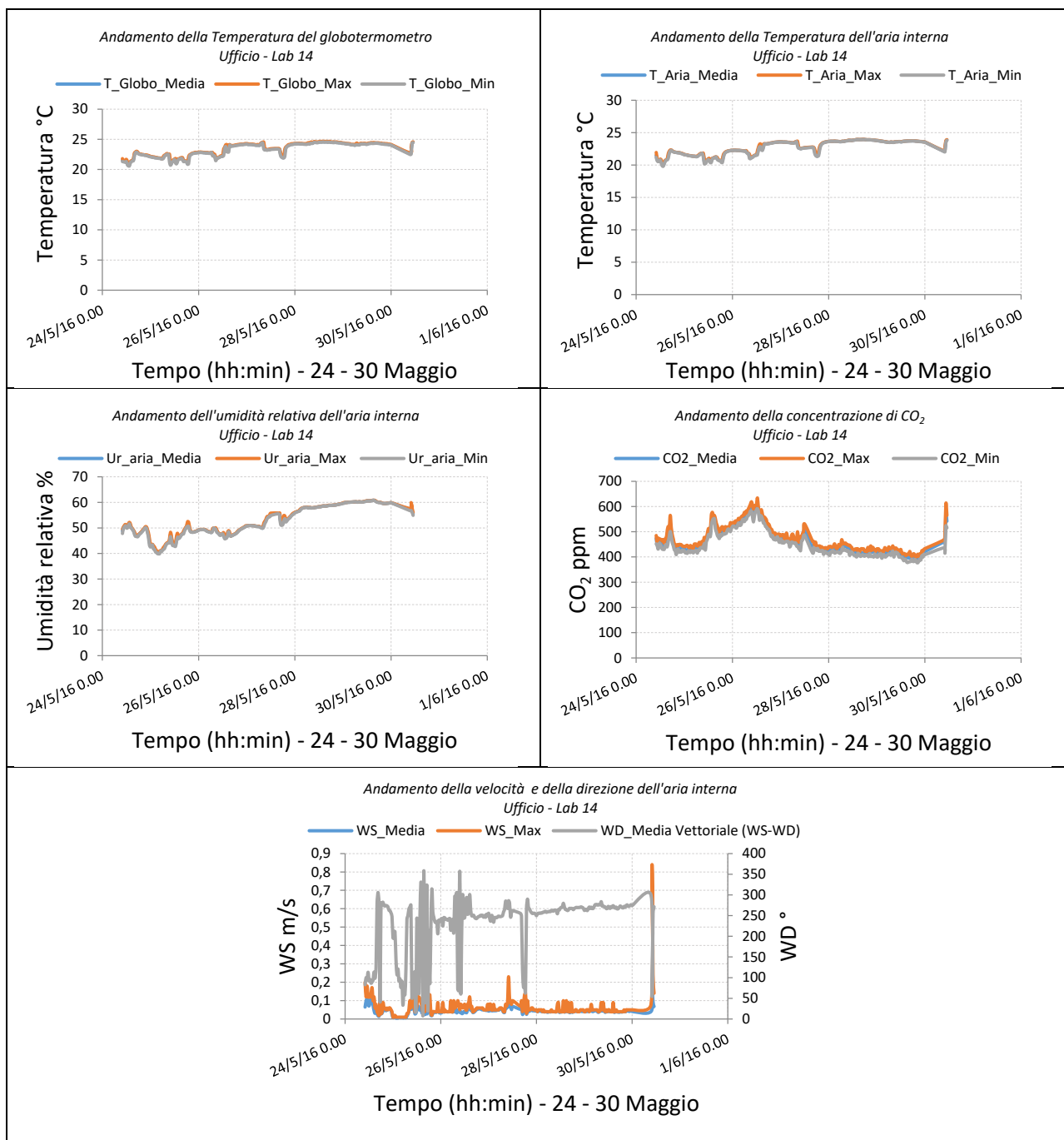
Figura 1.11. Pianta ufficio 8- soppalco. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



8.5 Ufficio – Lab 14 – Centralina 4



Figura 1.12. Pianta ufficio-lab 14. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



9 Grafici relativi alle misurazioni dei parametri ambientali Periodo 30 Maggio - 06 Giugno

9.1 Ufficio 5 – Piano terra – Centralina 2

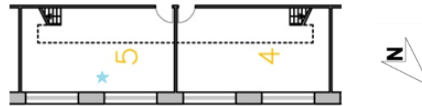
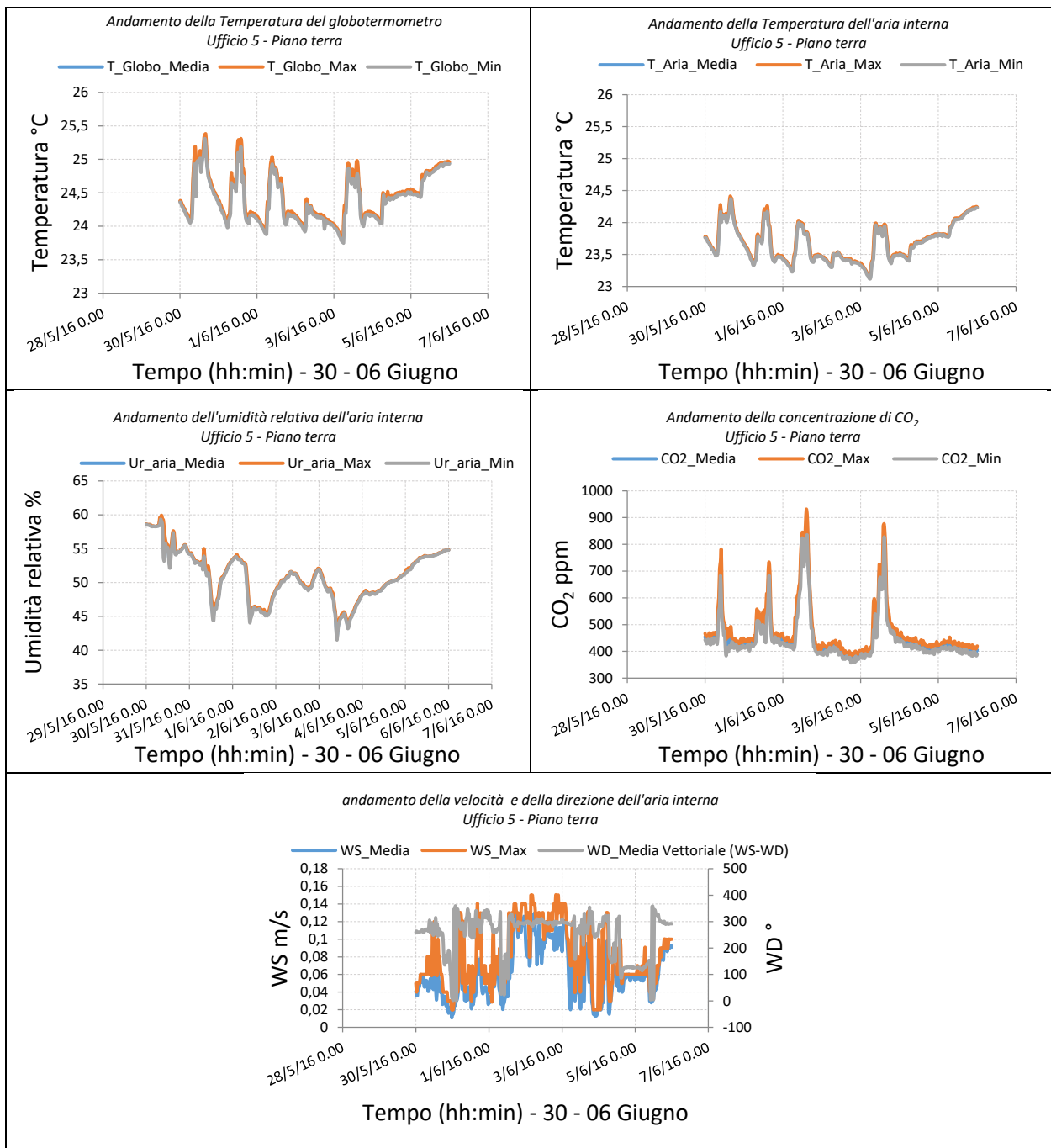


Figura 2.1. Pianta ufficio 5 – Piano terra. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



9.2 Ufficio 5 – Soppalco – Centralina 3

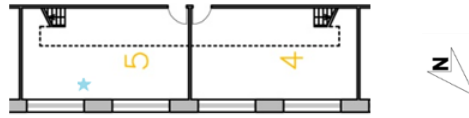
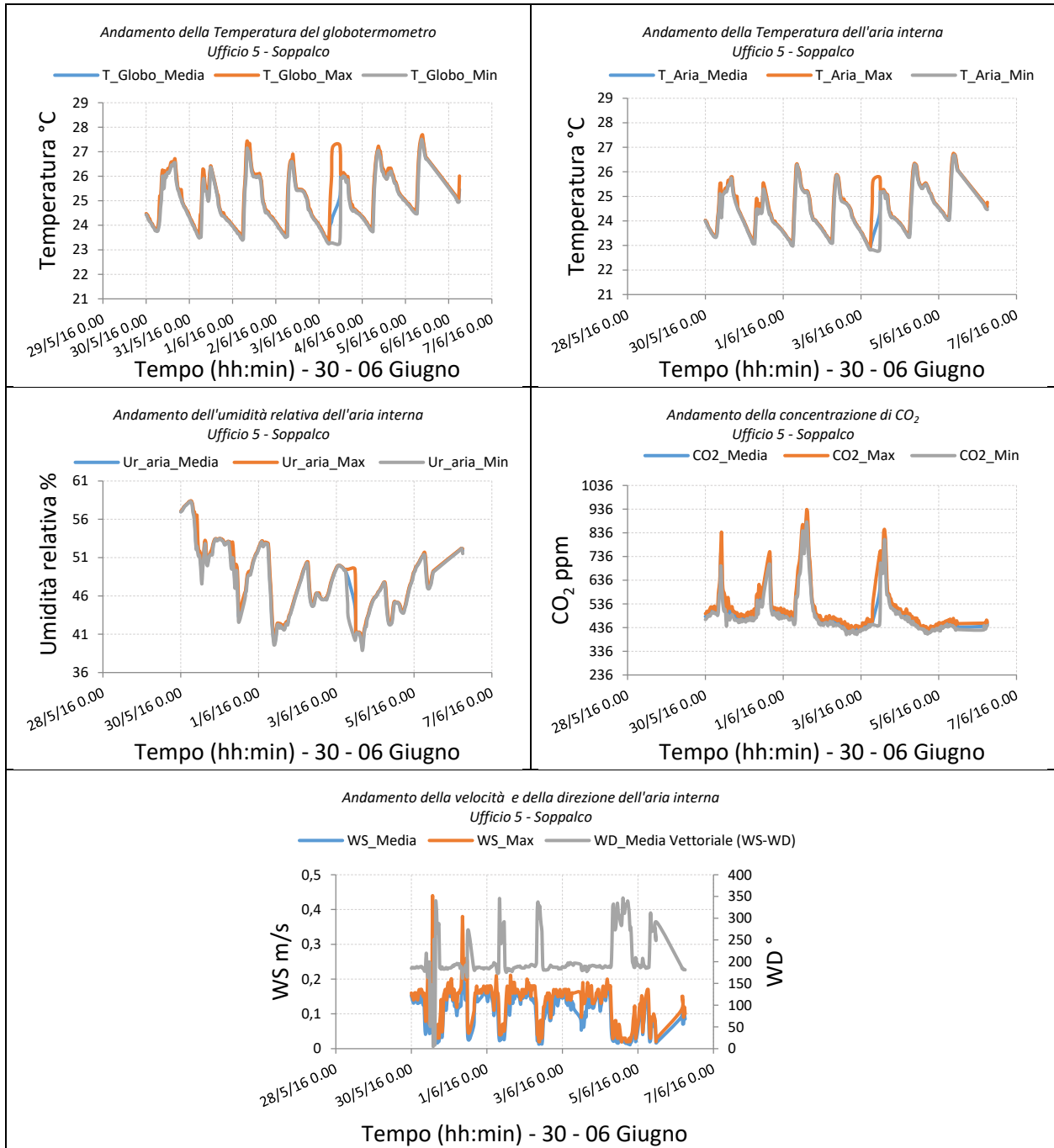


Figura 13.2. Pianta ufficio 5 – soppalco. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



9.3 Ufficio 9 – Piano terra – Centralina 1

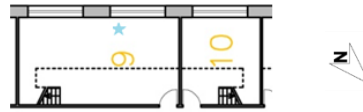
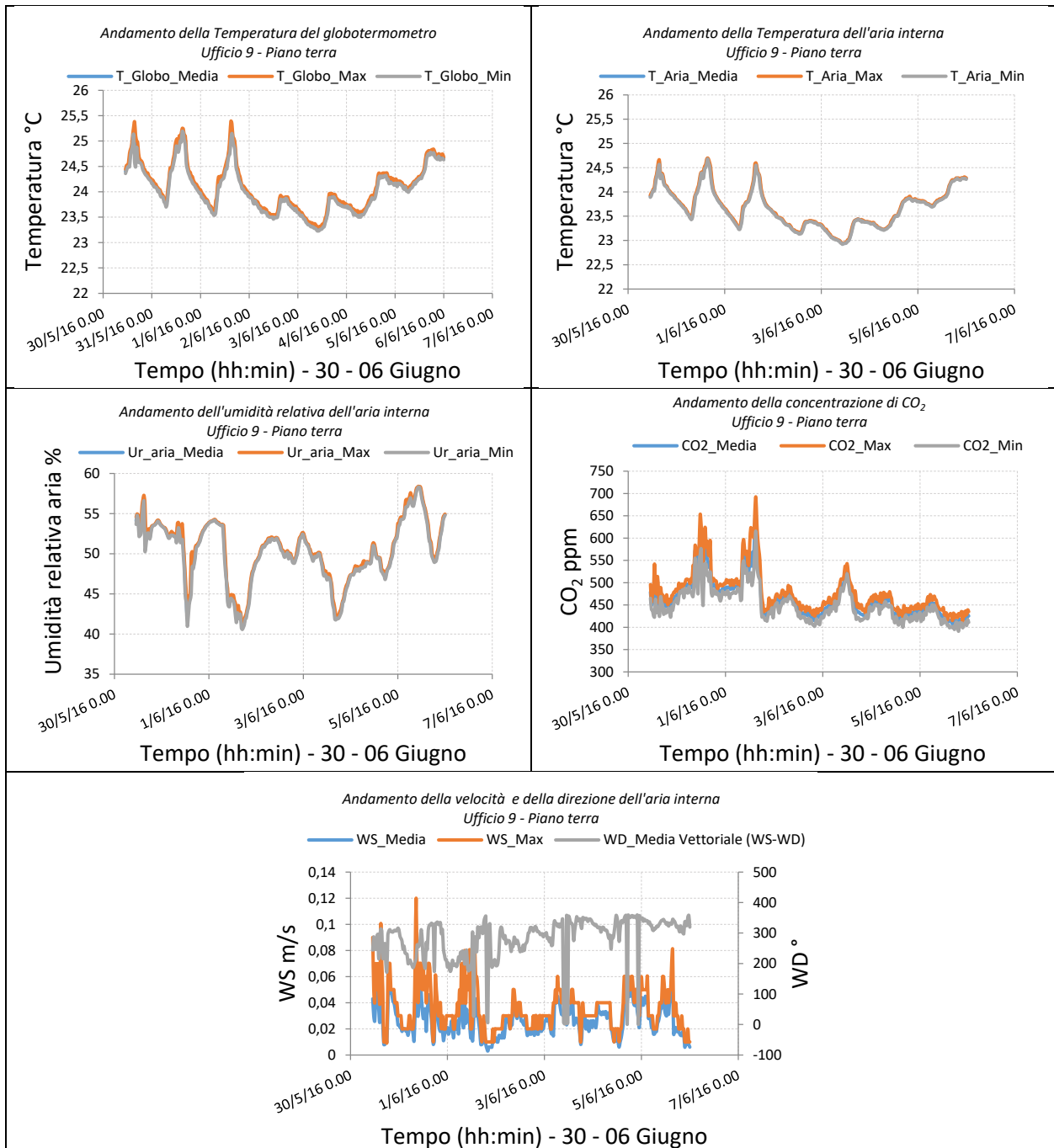


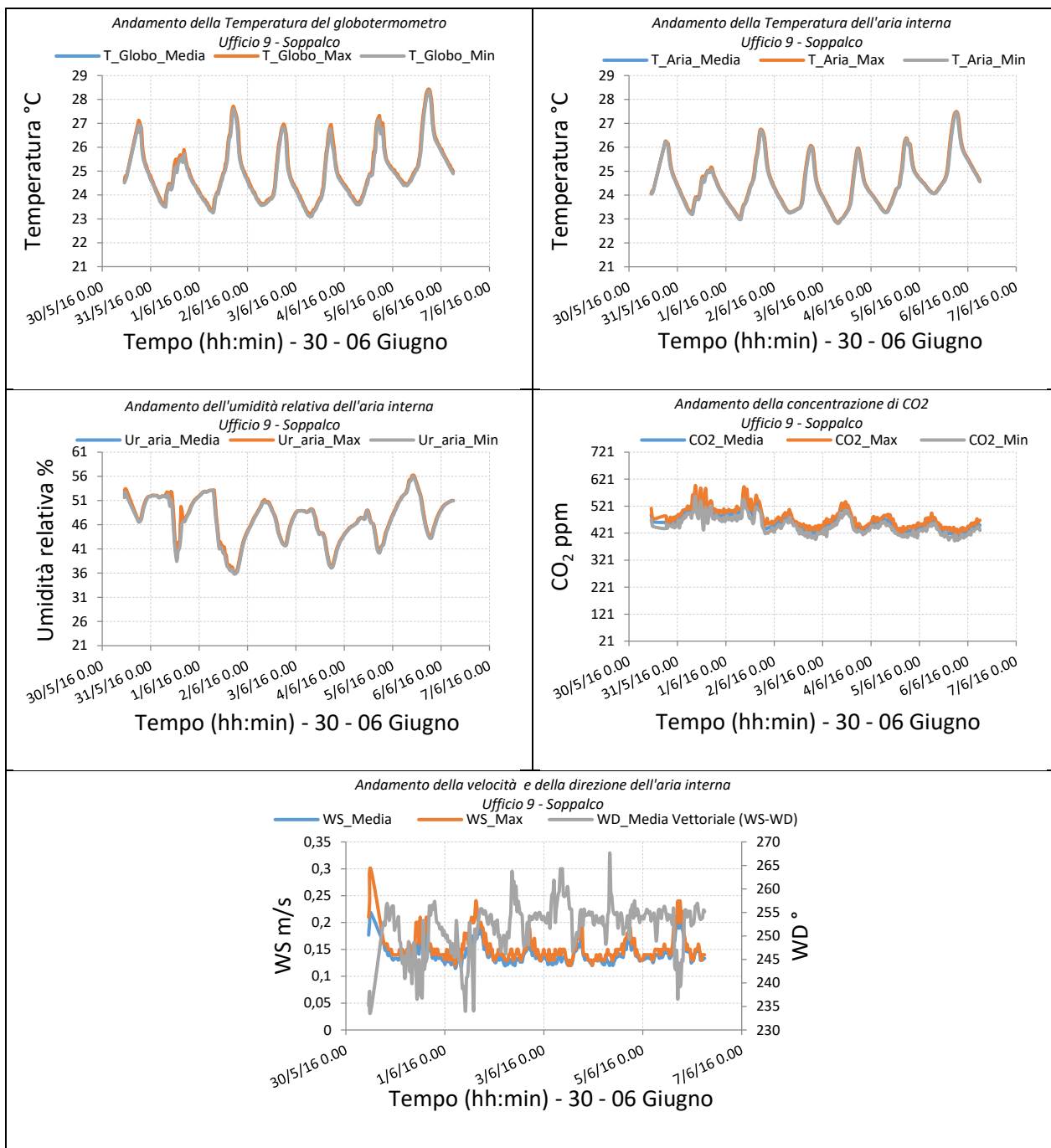
Figura 2.14 Pianta ufficio 9 – piano terra. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



9.4 Ufficio 9 – Soppalco – Centralina 5



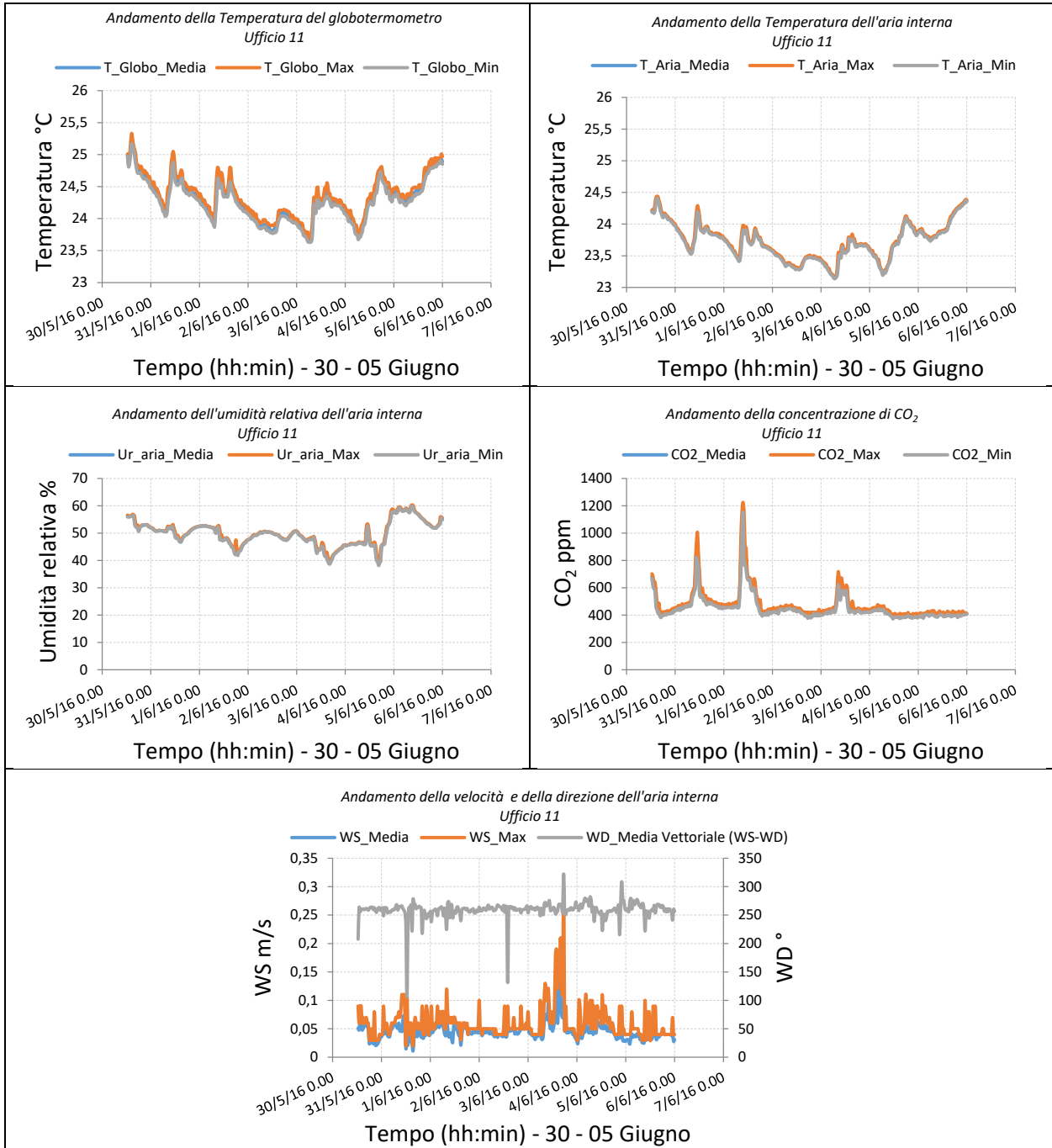
Figura 2.15 Pianta ufficio 9 – soppalco. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



9.5 Ufficio 11 – Centralina 4



Figura 2.16 Pianta ufficio 11. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.

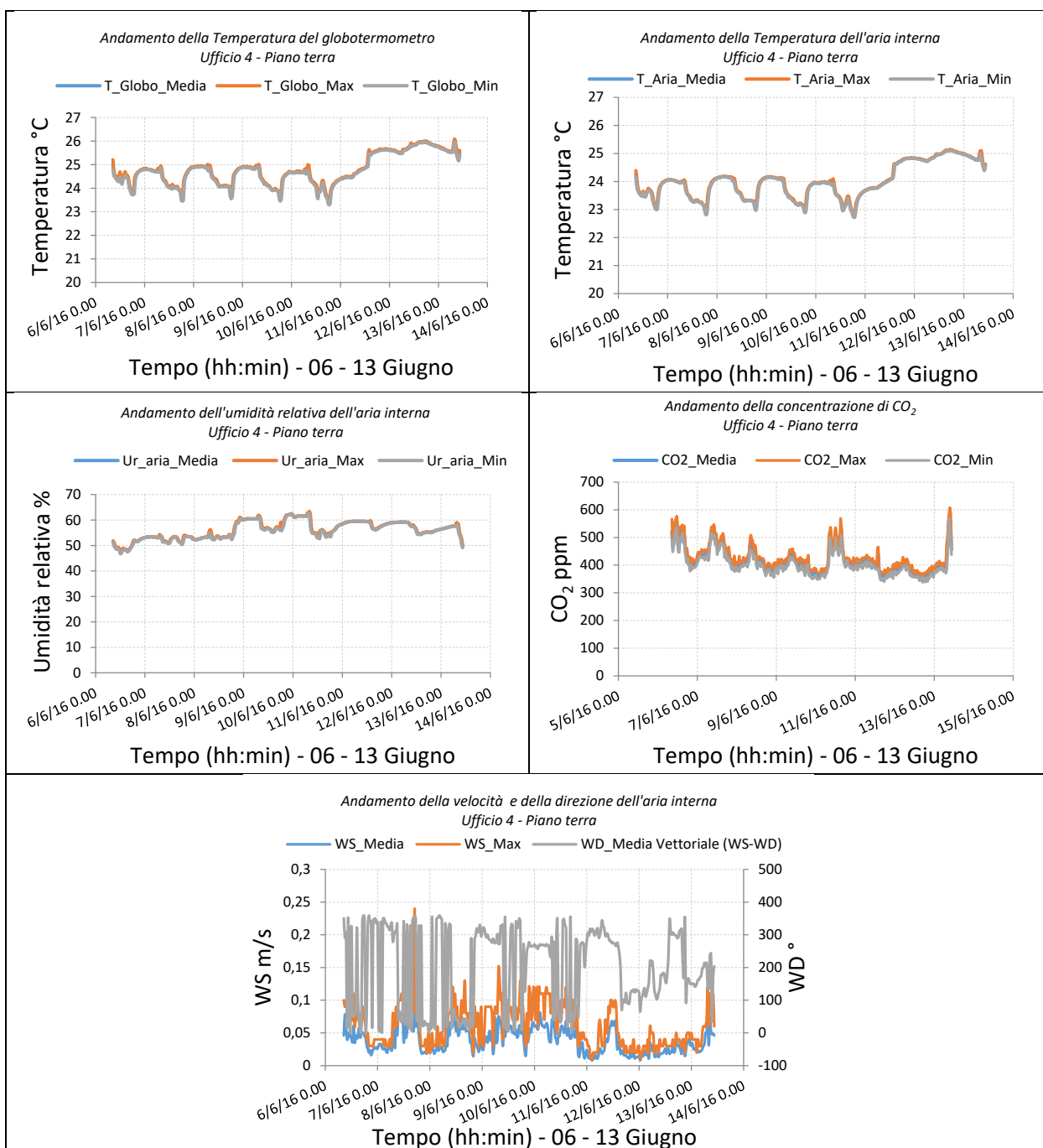


10 Grafici relativi alle misurazioni dei parametri ambientali Periodo 06 - 13 Giugno

10.1 Ufficio 4 – Piano terra – Centralina 2



Figura 3.17. Pianta ufficio 4 - piano terra. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



10.2 Ufficio 4 – Soppalco – Centralina 3

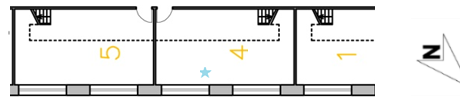
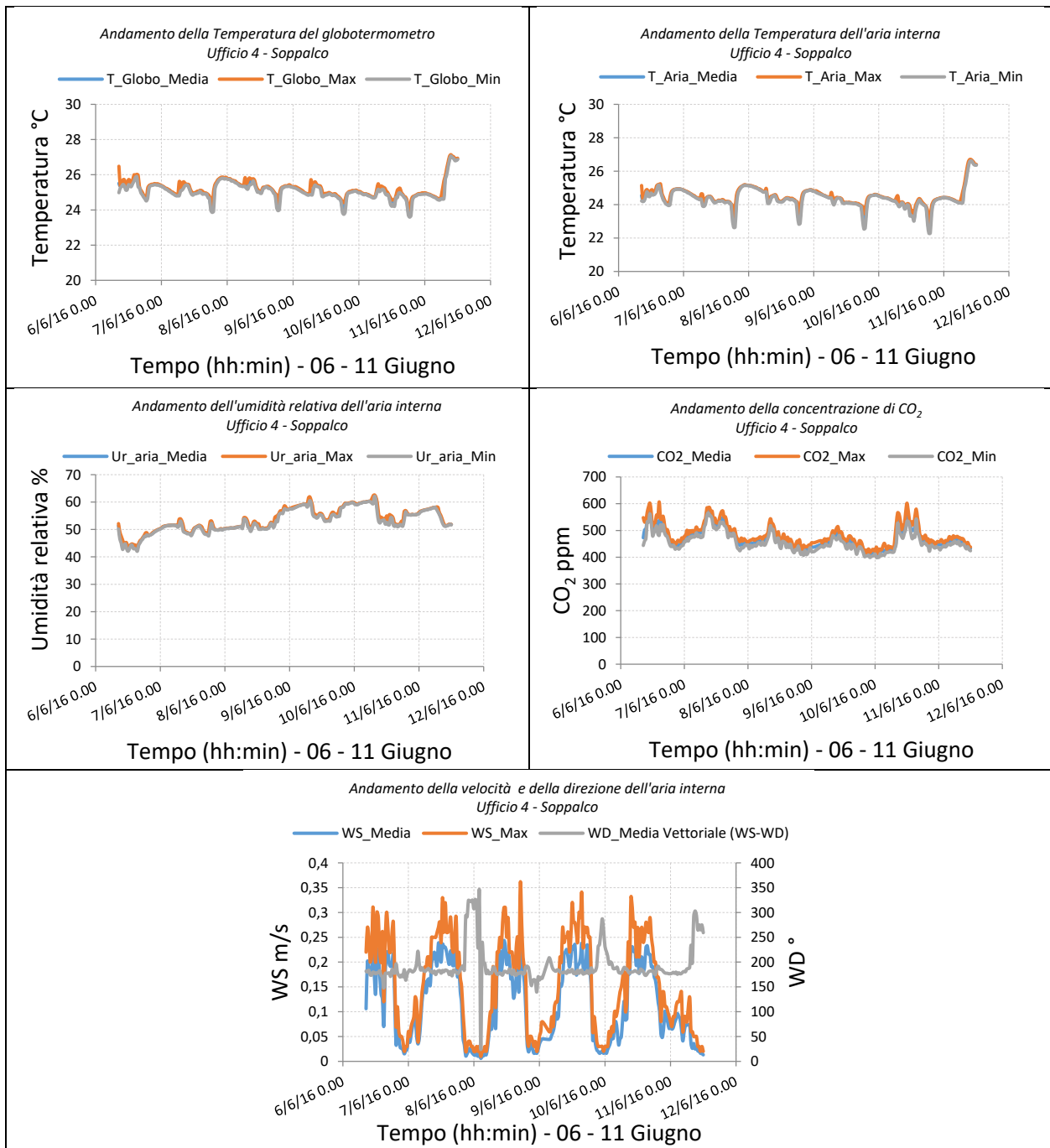


Figura 3.18. Pianta ufficio 4 - soppalco. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



10.3 Ufficio 8 – Piano terra – Centralina 1

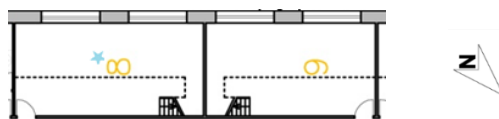
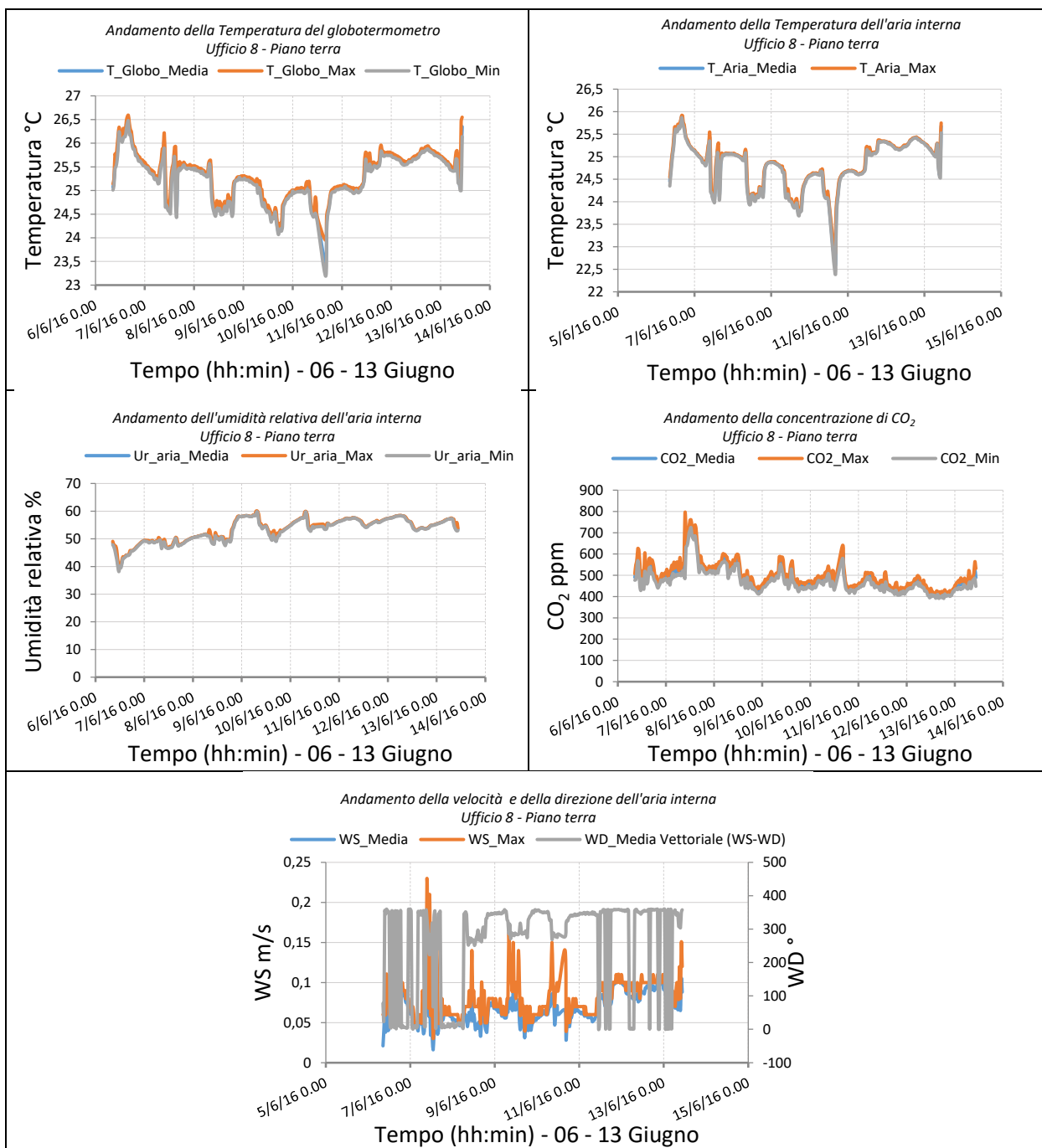


Figura 3.19. Pianta ufficio 8- piano terra. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



10.4 Ufficio 8 – Soppalco – Centralina 5

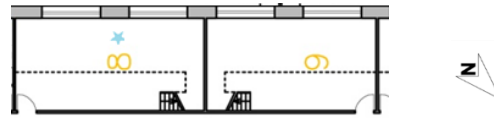
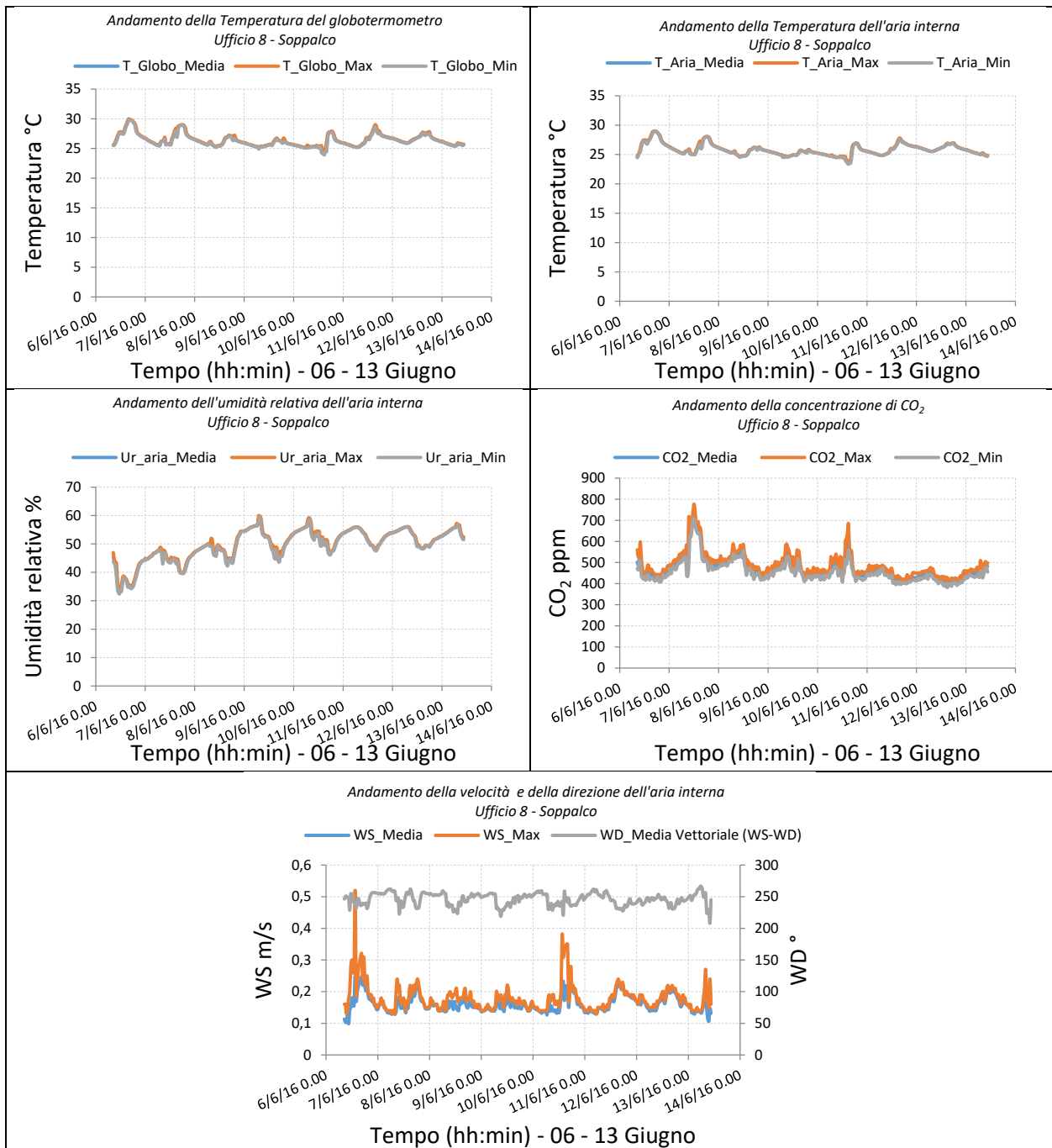


Figura 3.20. Pianta ufficio 8- soppalco. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



10.5 Ufficio 10 – Centralina 4

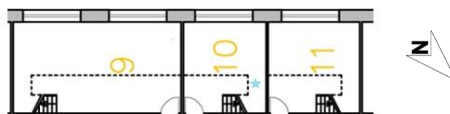
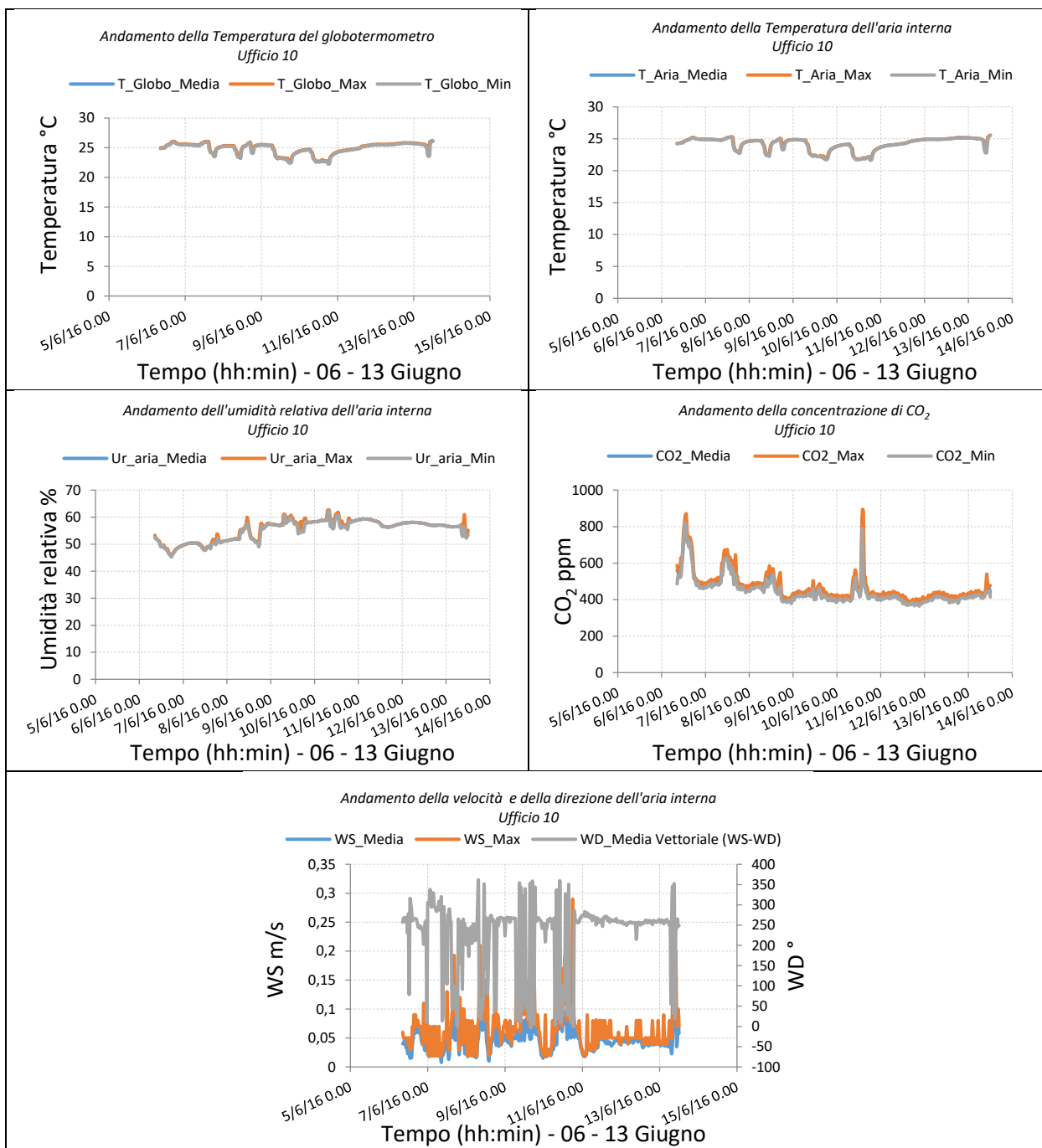


Figura 3.21. Pianta ufficio 10. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



11 Grafici relativi alle misurazioni dei parametri ambientali Periodo 13- 20 Giugno

11.1 Ufficio 5 – Piano terra – Centralina 2

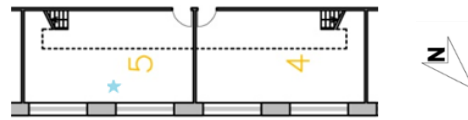
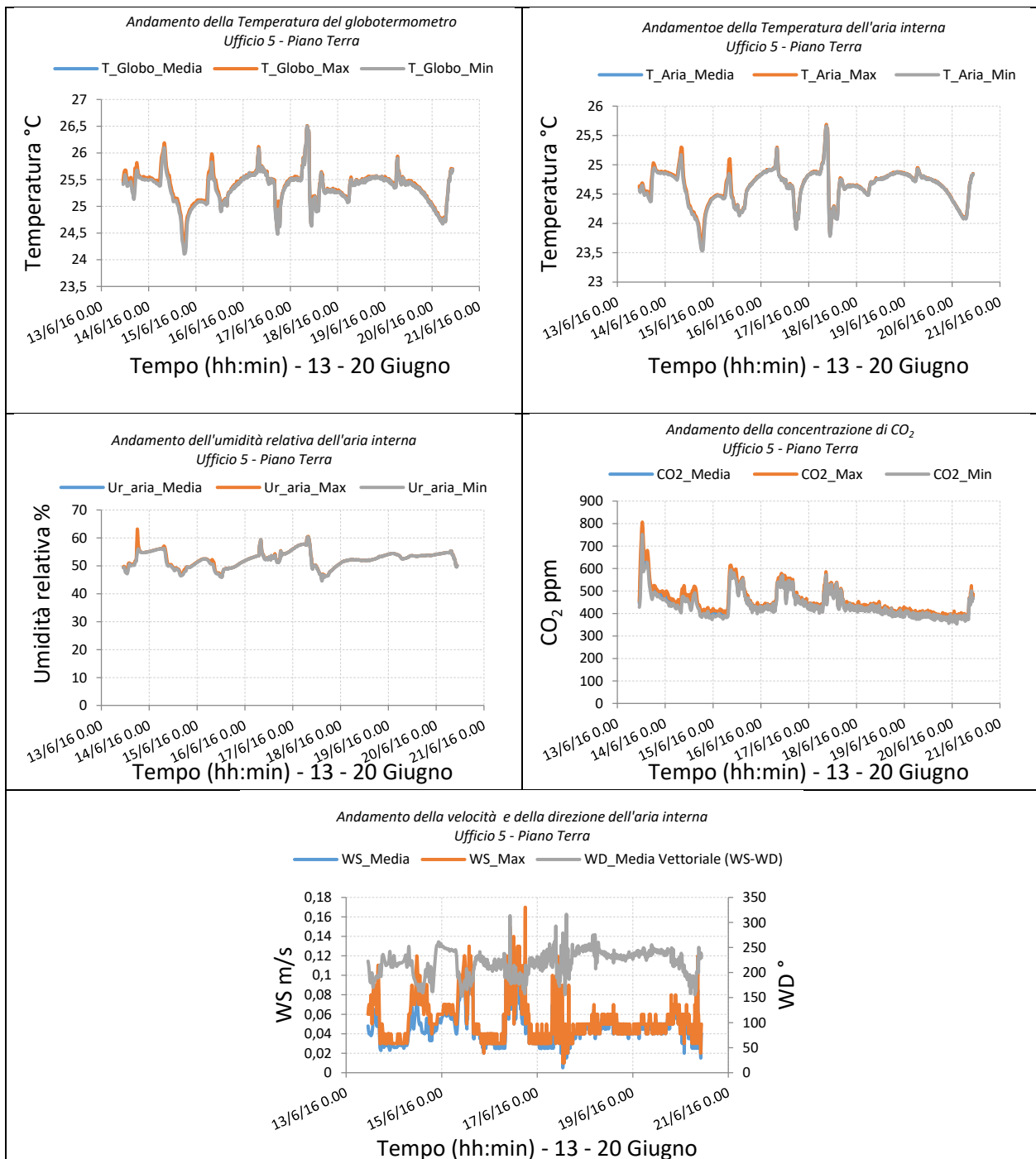


Figura 4.22 Pianta ufficio 5 – Piano terra. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste



11.2 Ufficio 5 – Soppalco – Centralina 3

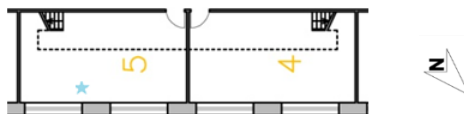
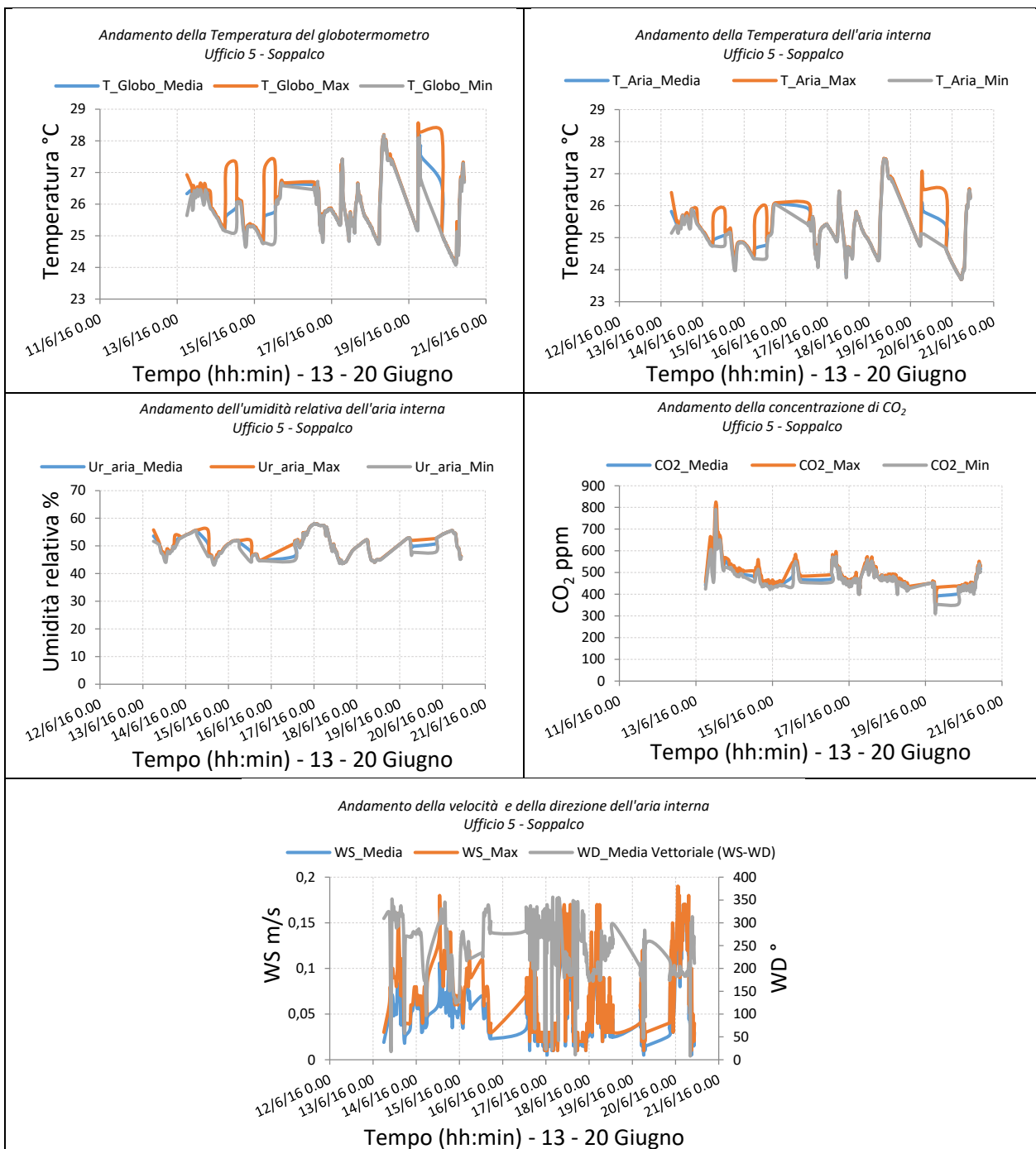


Figura 4.23. Pianta ufficio 5 – soppalco. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



11.3 Ufficio 8 – Soppalco – Centralina 5

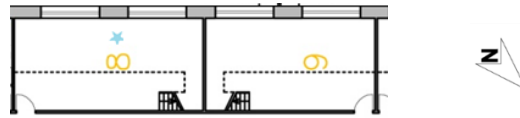
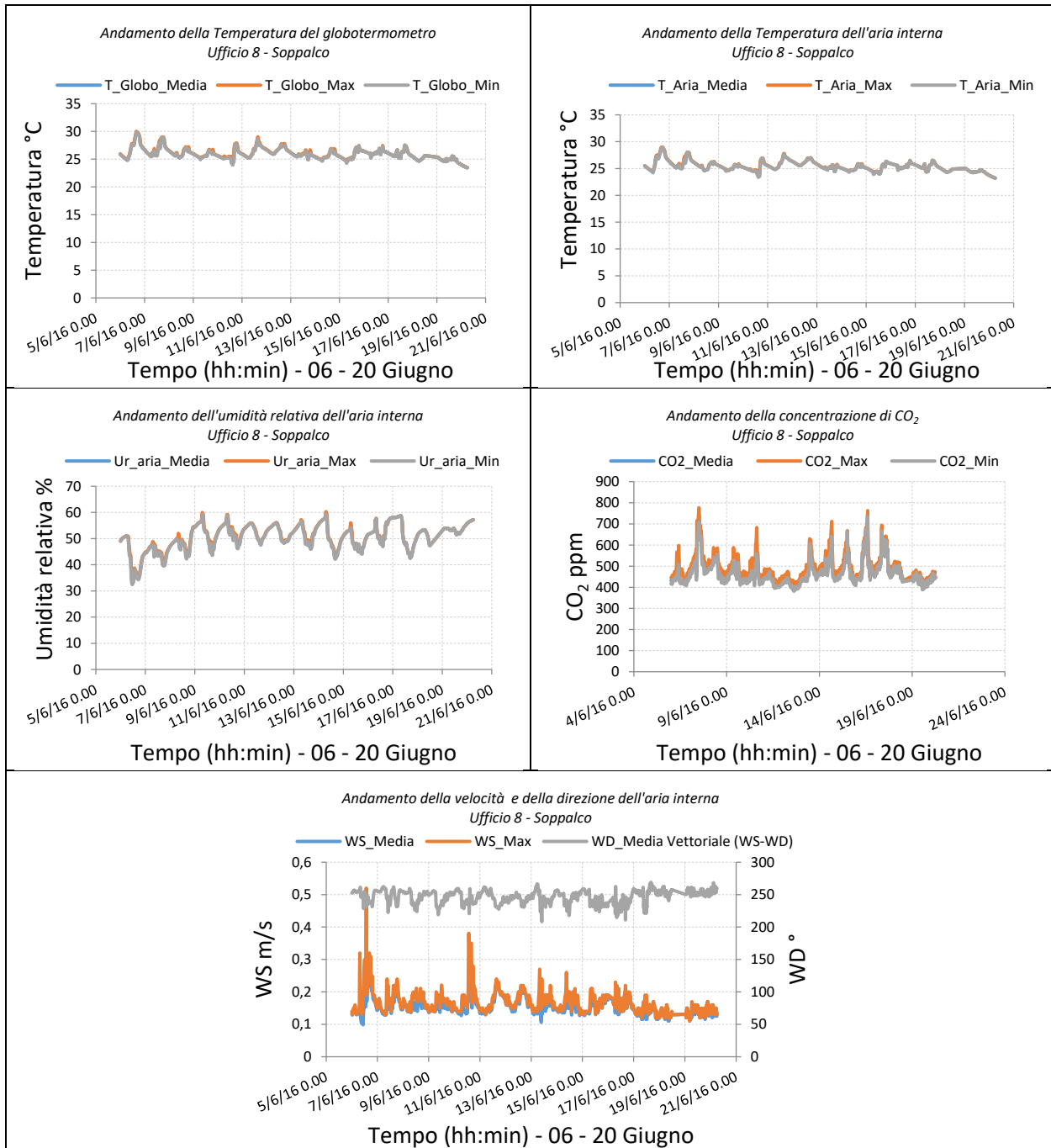


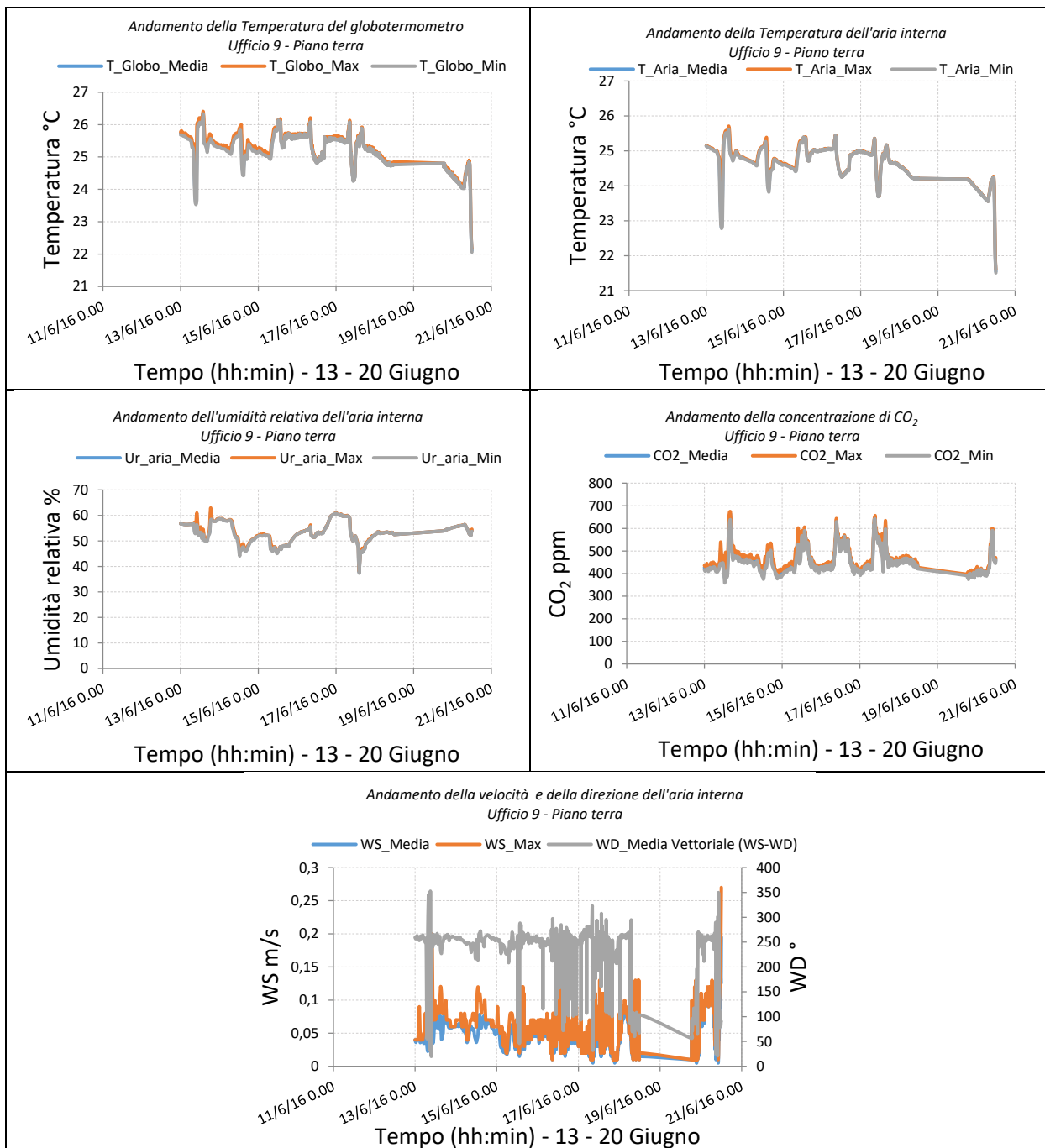
Figura 4.24. Pianta ufficio 8- soppalco. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



11.4 Ufficio 9 – Piano terra – Centralina 4



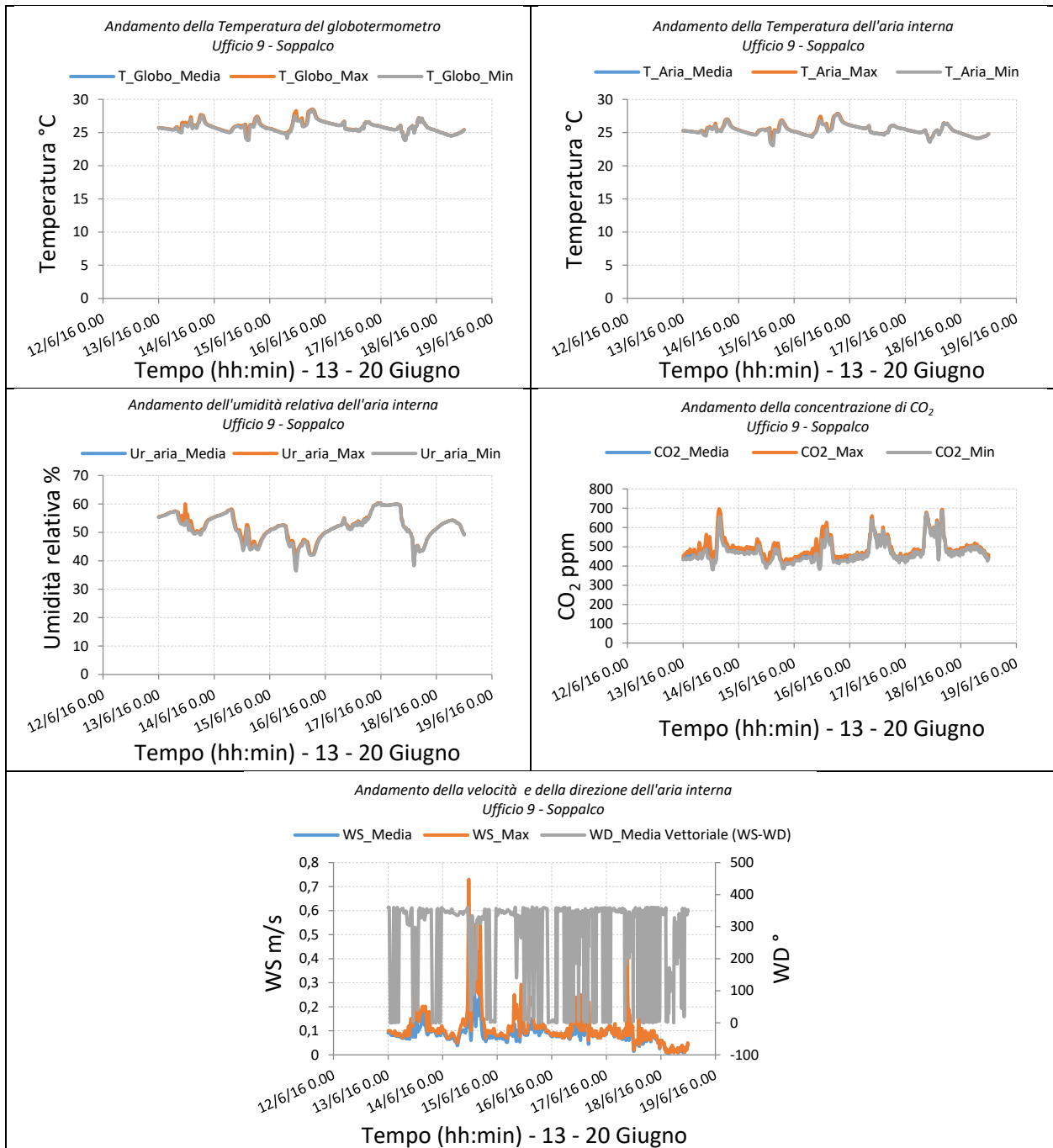
Figura 4.25. Pianta ufficio 9 – piano terra. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



11.5 Ufficio 9 – Soppalco – Centralina 1



Figura 4.26. Pianta ufficio 9 – soppalco. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



12 Grafici relativi alle misurazioni dei parametri ambientali Periodo 20 - 27 Giugno

12.1 LAB 2 – Centralina 5

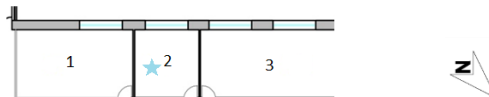
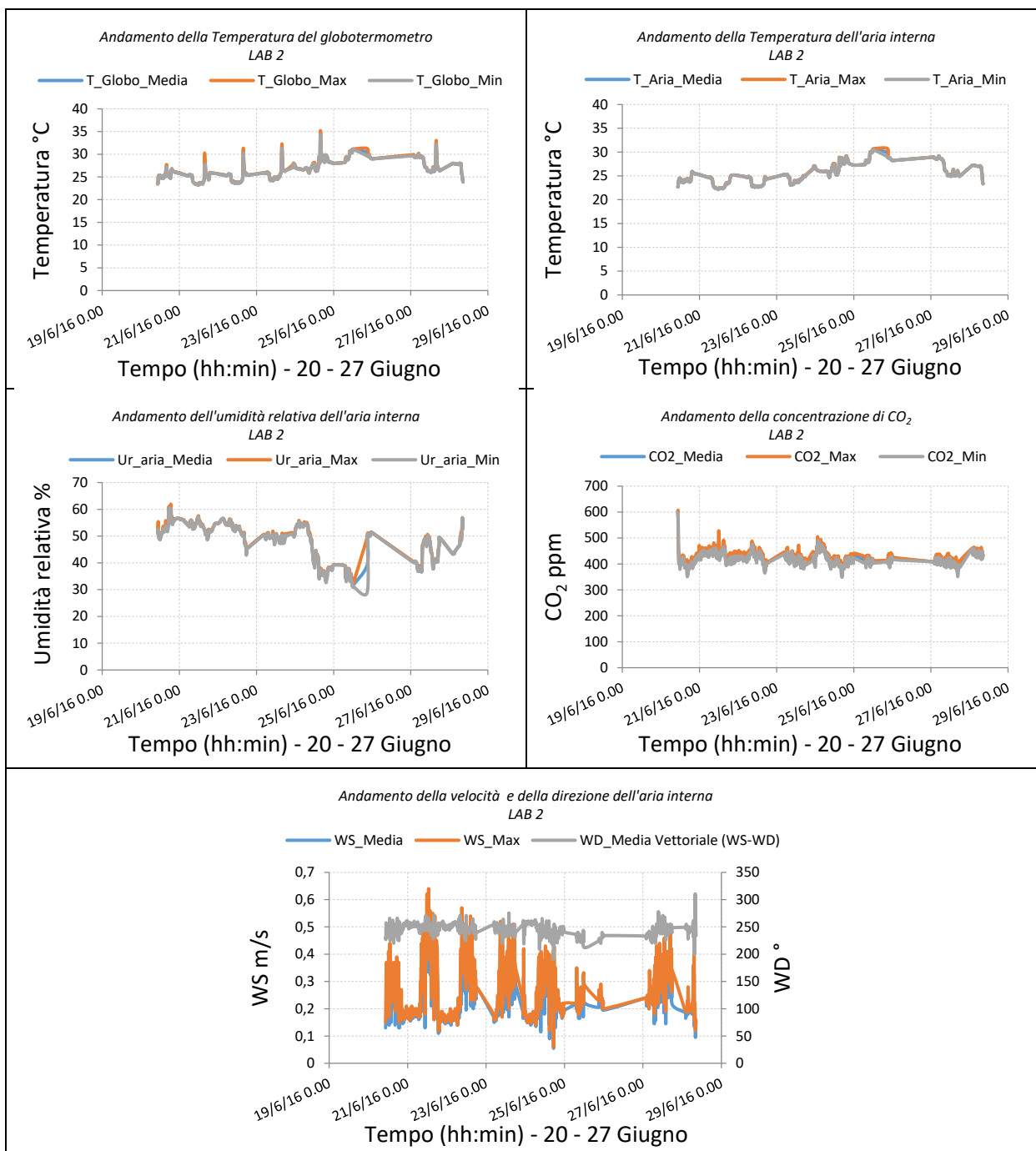


Figura 5.27. Pianta LAB 2. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



12.2 Ufficio 10 – Centralina 4

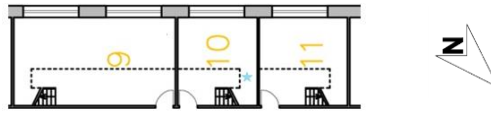
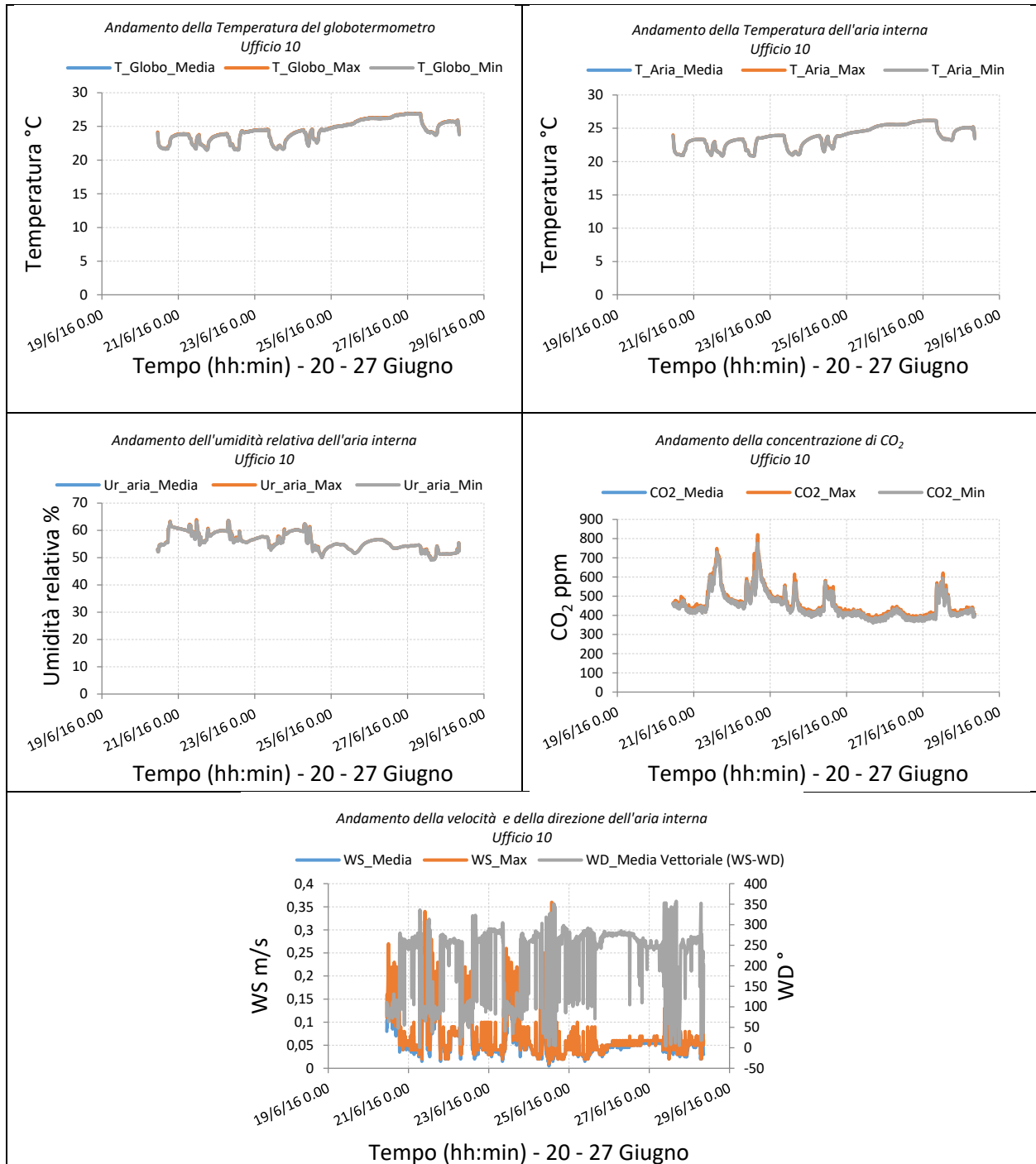


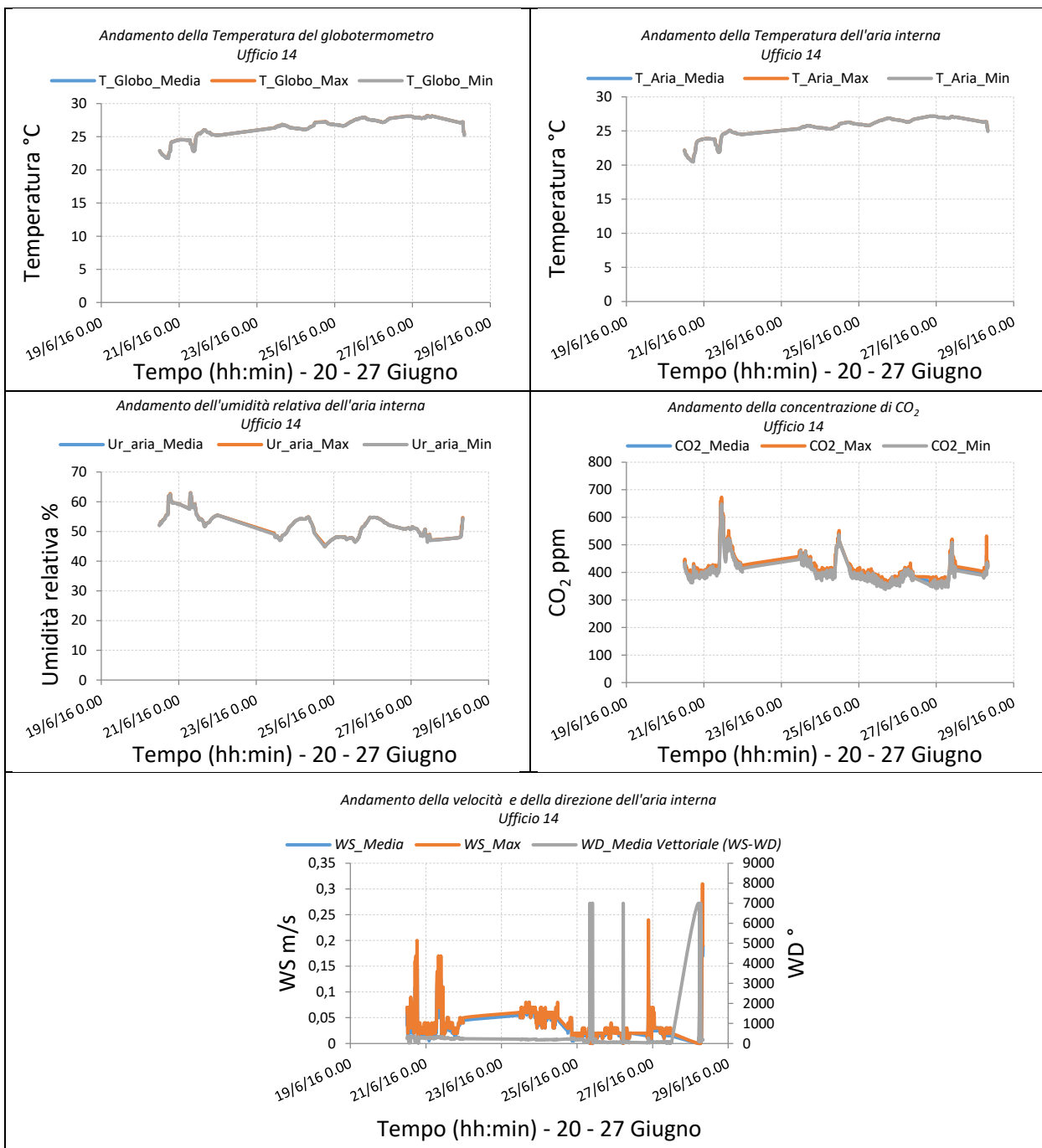
Figura 5.28. Pianta ufficio 10. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



12.3 Ufficio 14 – Centralina 2



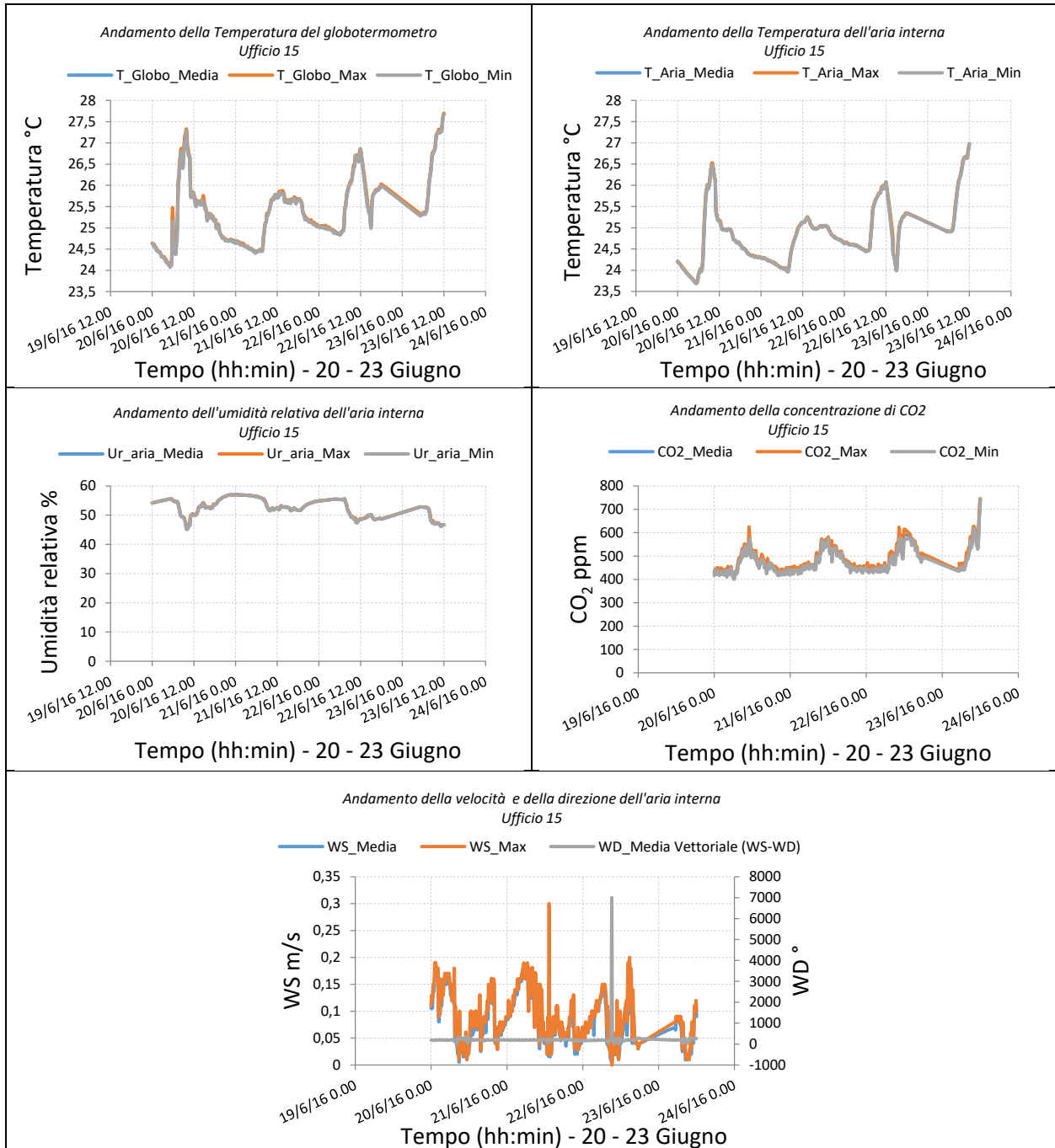
Figura 5.29. Pianta ufficio 14. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



12.4 Ufficio 15 – Centralina 3



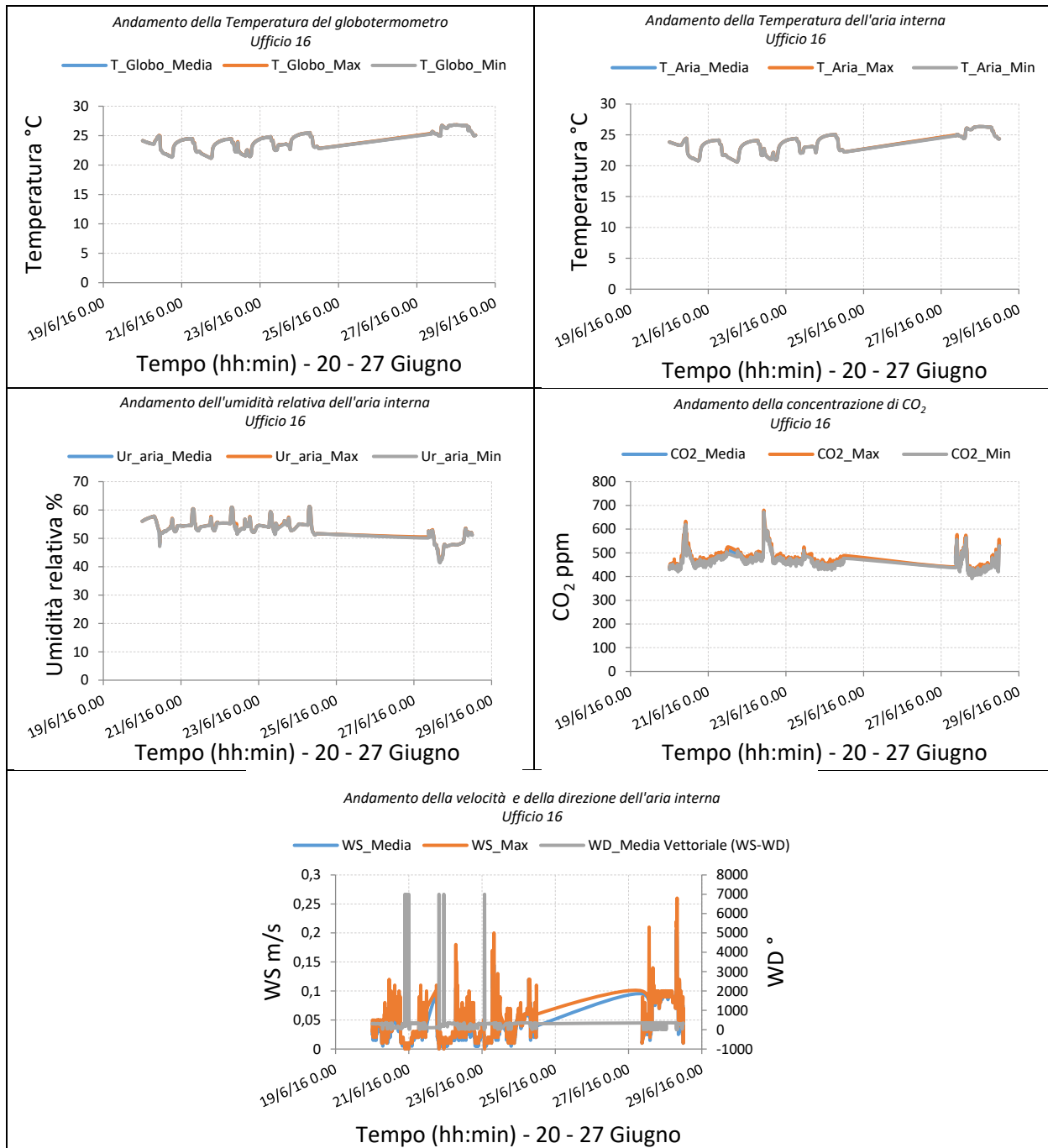
Figura 5.30. Pianta ufficio 15. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



12.5 Ufficio 16 – Centralina 1



Figura 5.31. Pianta ufficio 16. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



13 Grafici relativi alle misurazioni dei parametri ambientali Periodo 28 Giugno - 03 Luglio

13.1 Auditorium – lato sinistro – Centralina 4

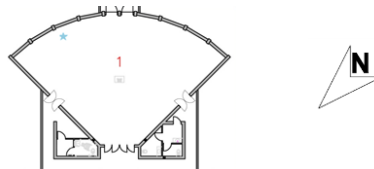
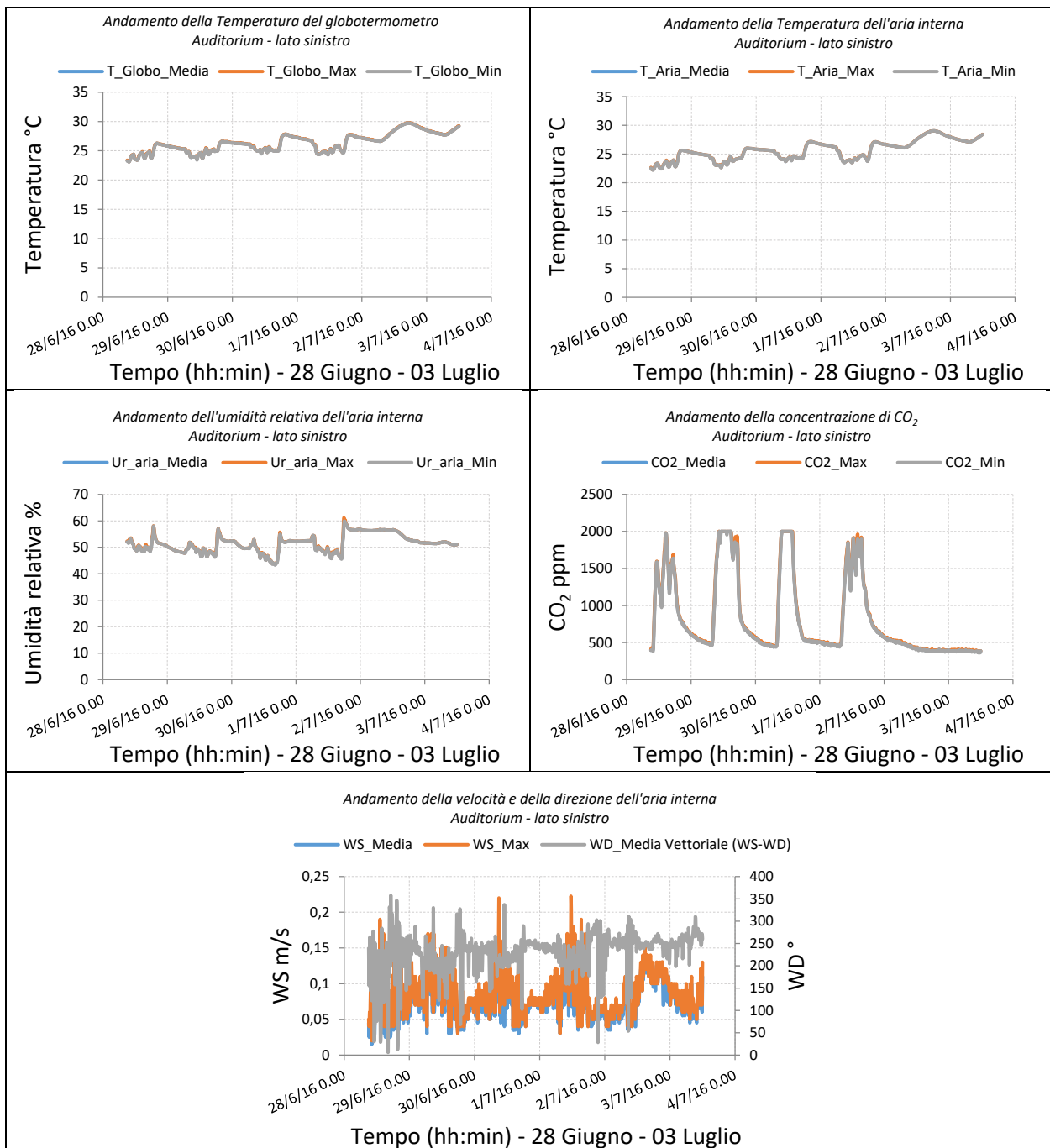


Figura 6.32. Pianta Auditorium. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



13.2 Auditorium – lato destro – Centralina 5

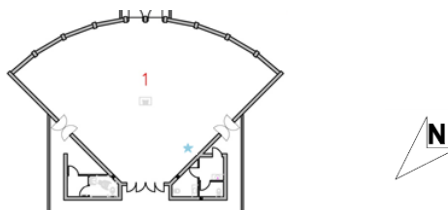
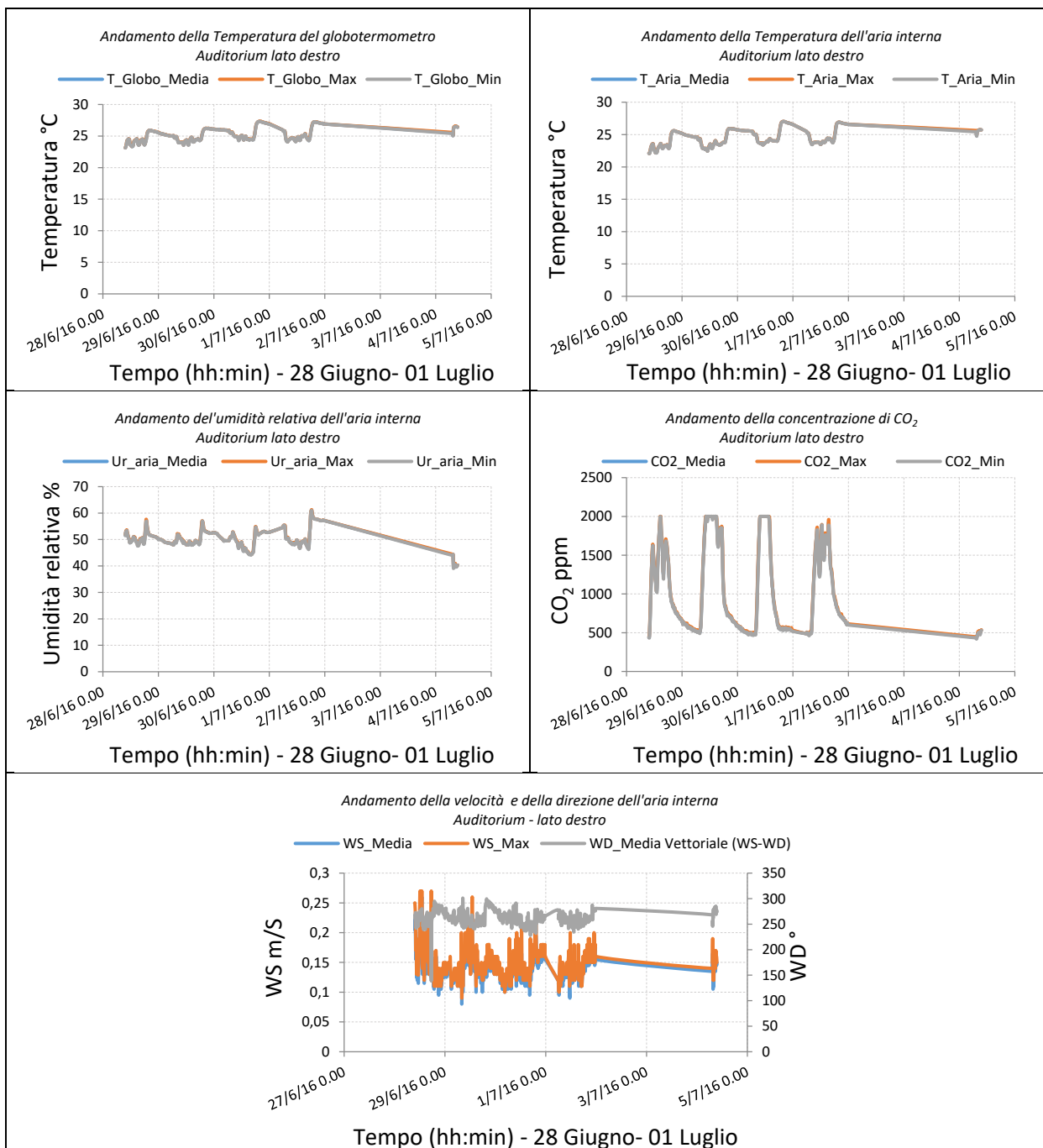


Figura 6.33. Pianta Auditorium. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



13.3 Aula 2 – Centralina 1

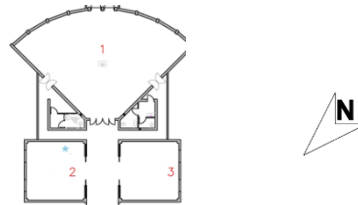
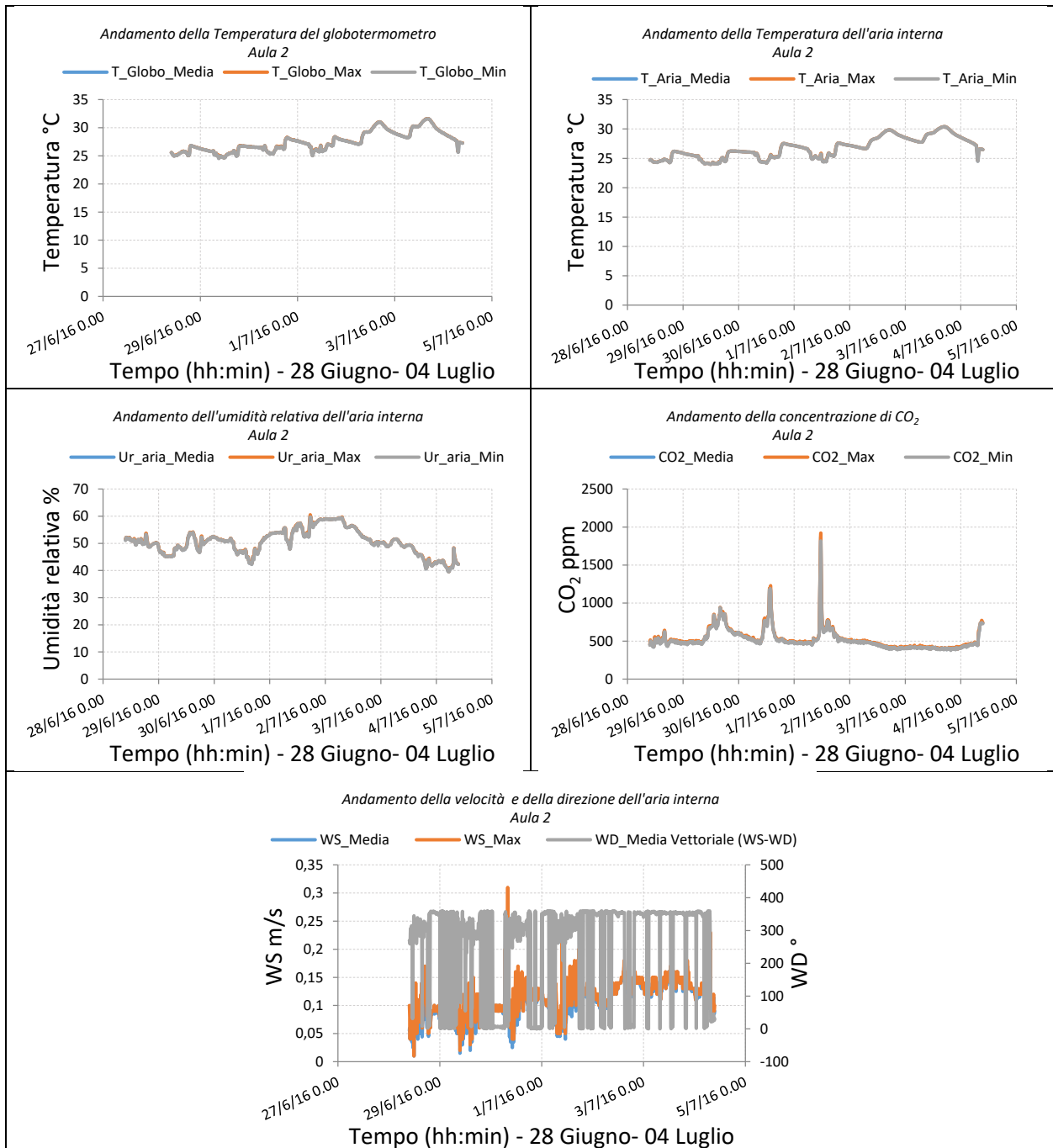


Figura 6.34. Pianta Aula 2. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



13.4 Aula 3 – Centralina 3

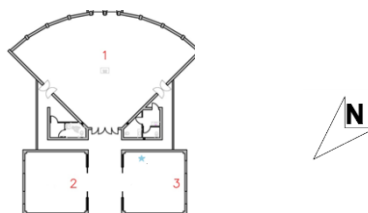
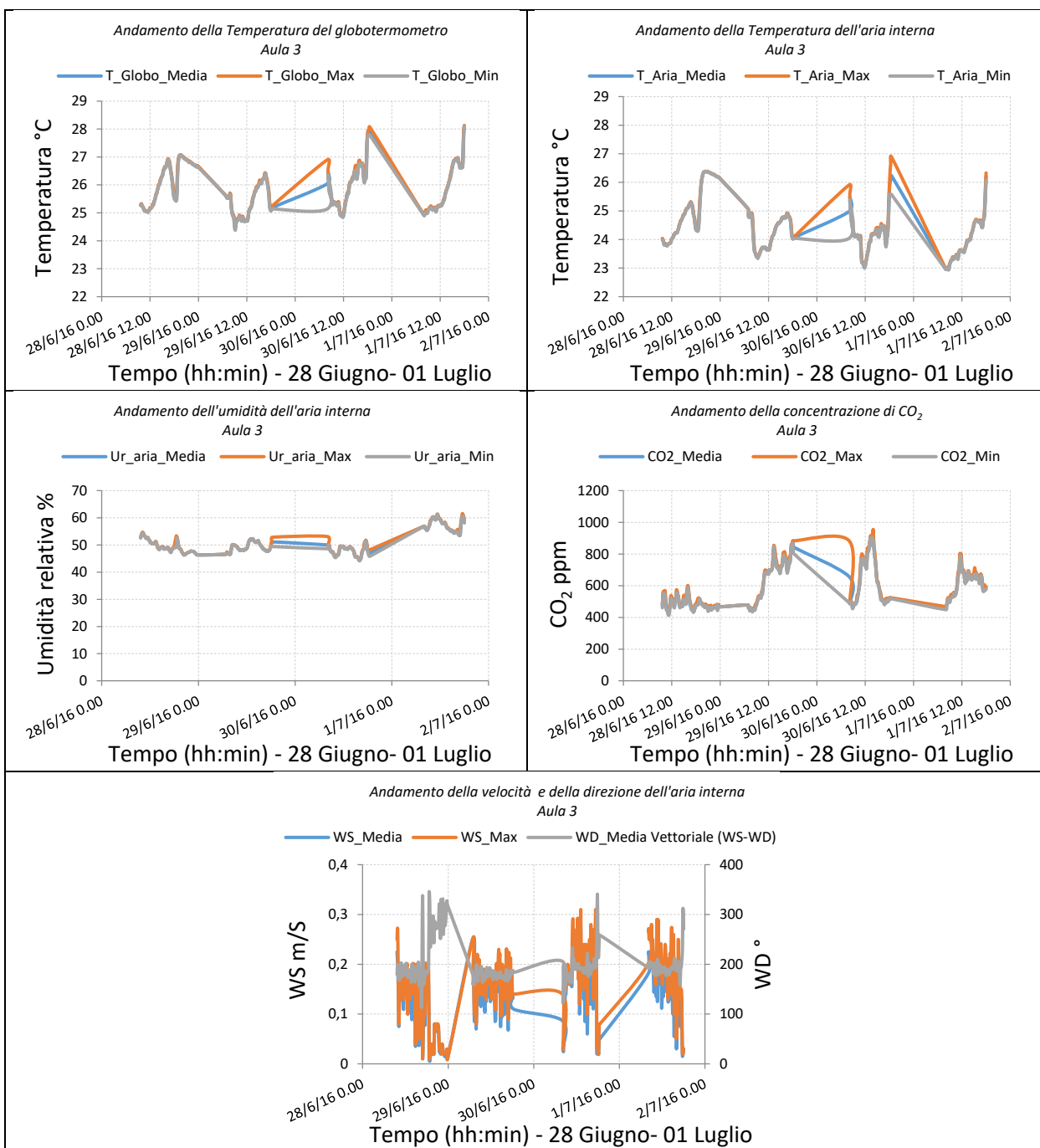


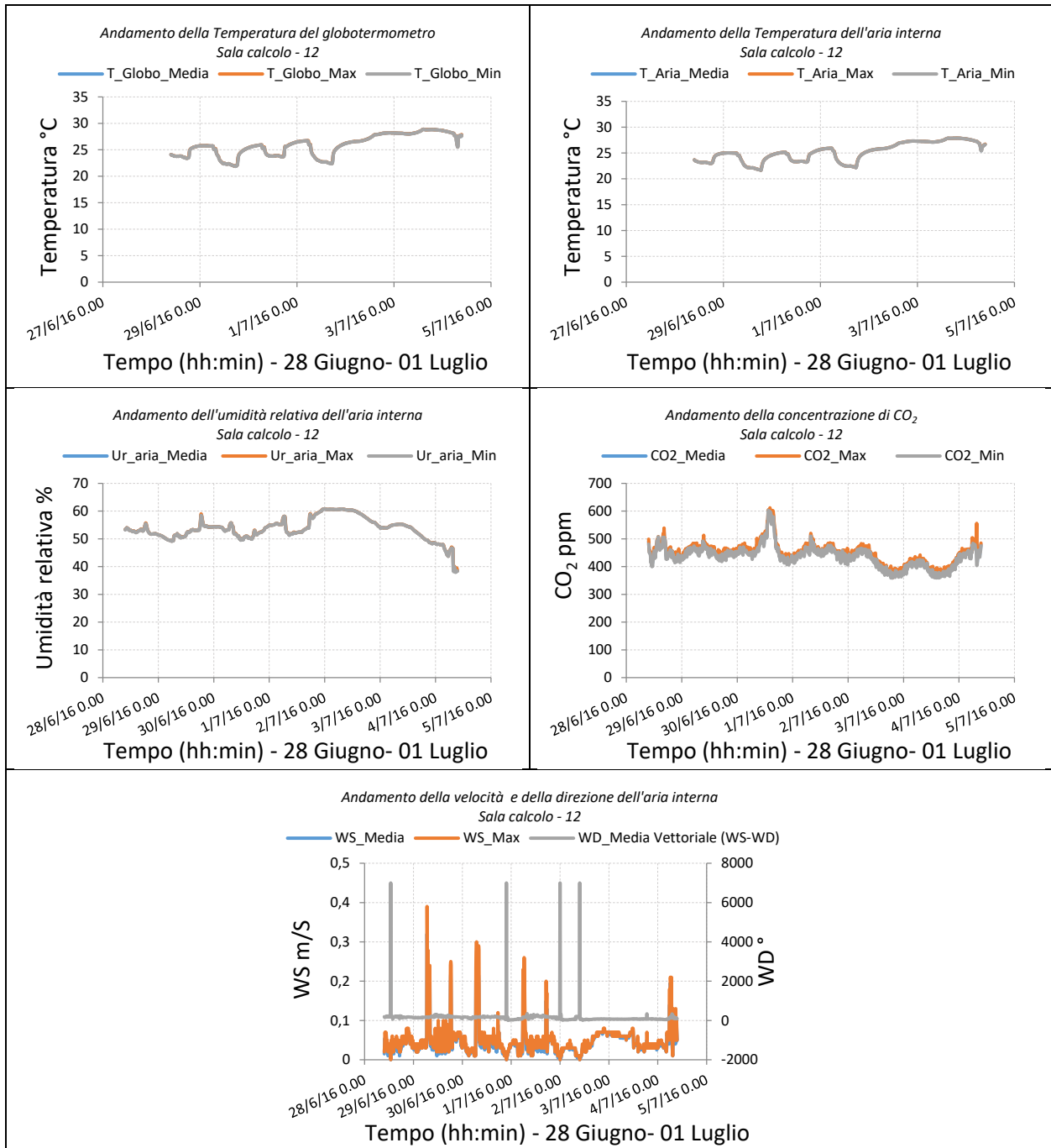
Figura 6.35. Pianta Aula 3. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



13.5 Sala calcolo 12 – Centralina 2



Figura 6.36. Pianta Sala calcolo 12. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



14 Grafici relativi alle misurazioni dei parametri ambientali Periodo 04 – 18 Luglio

14.1 Ufficio 5 – Piano terra – Centralina 1

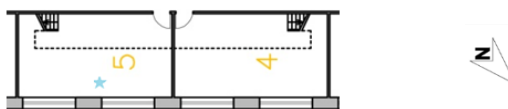
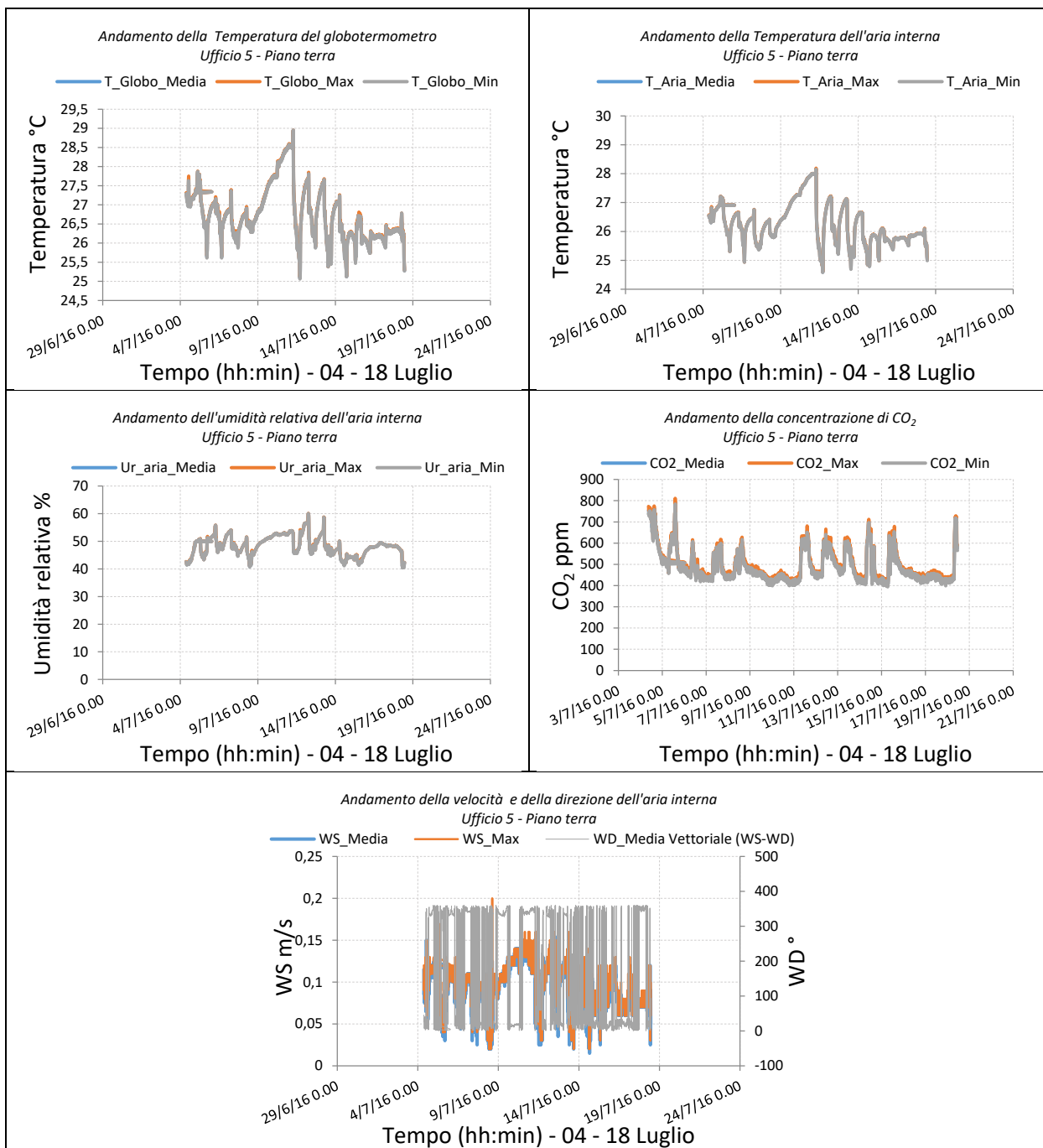


Figura 7.37. Pianta ufficio 5 – piano terra. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



14.2 Ufficio 5 – Soppalco – Centralina 3

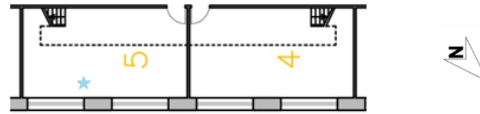
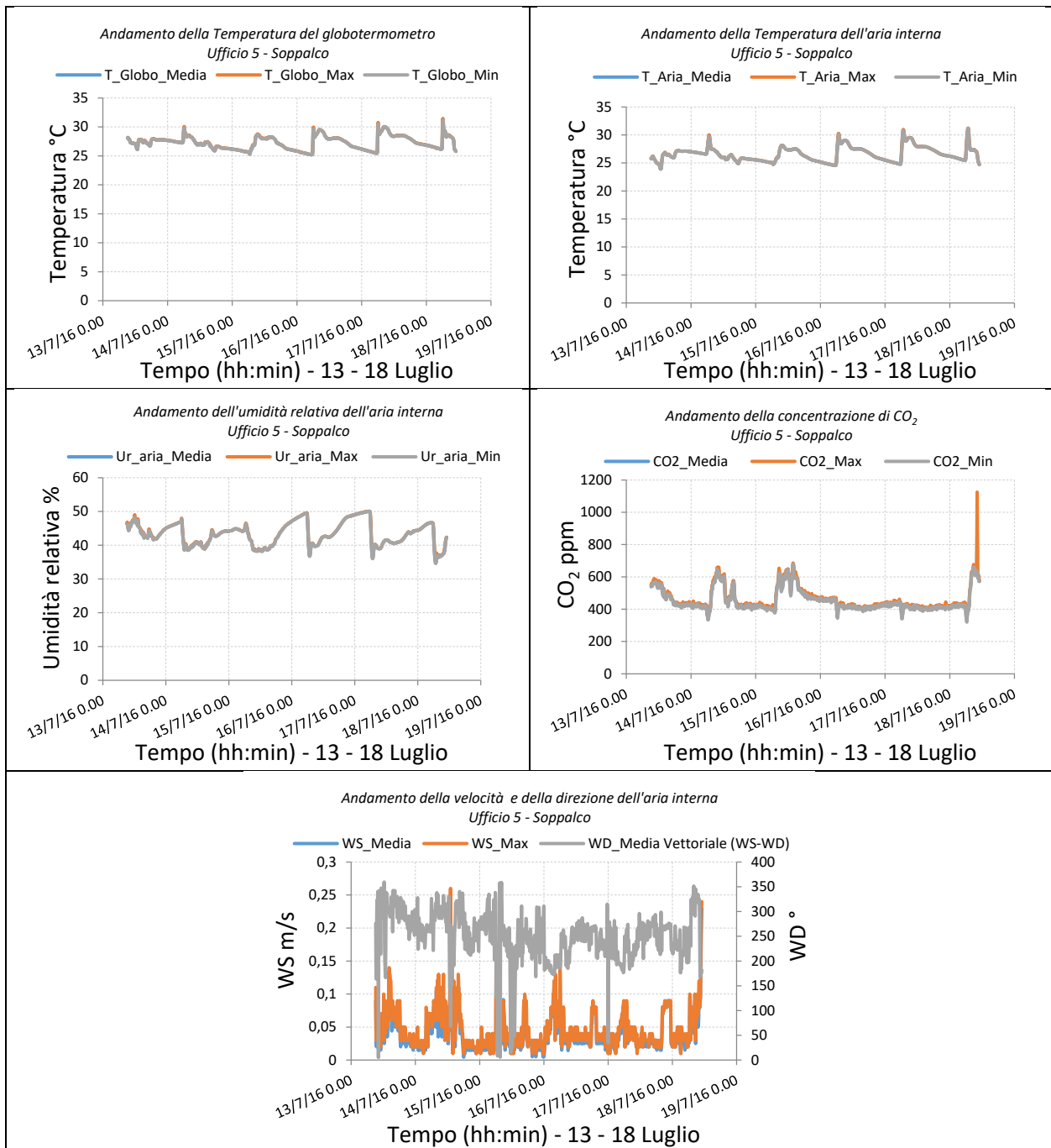


Figura 7.38. Pianta ufficio 5 – soppalco. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



14.3 Ufficio 6 – Soppalco – Centralina 2

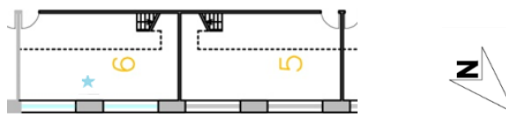
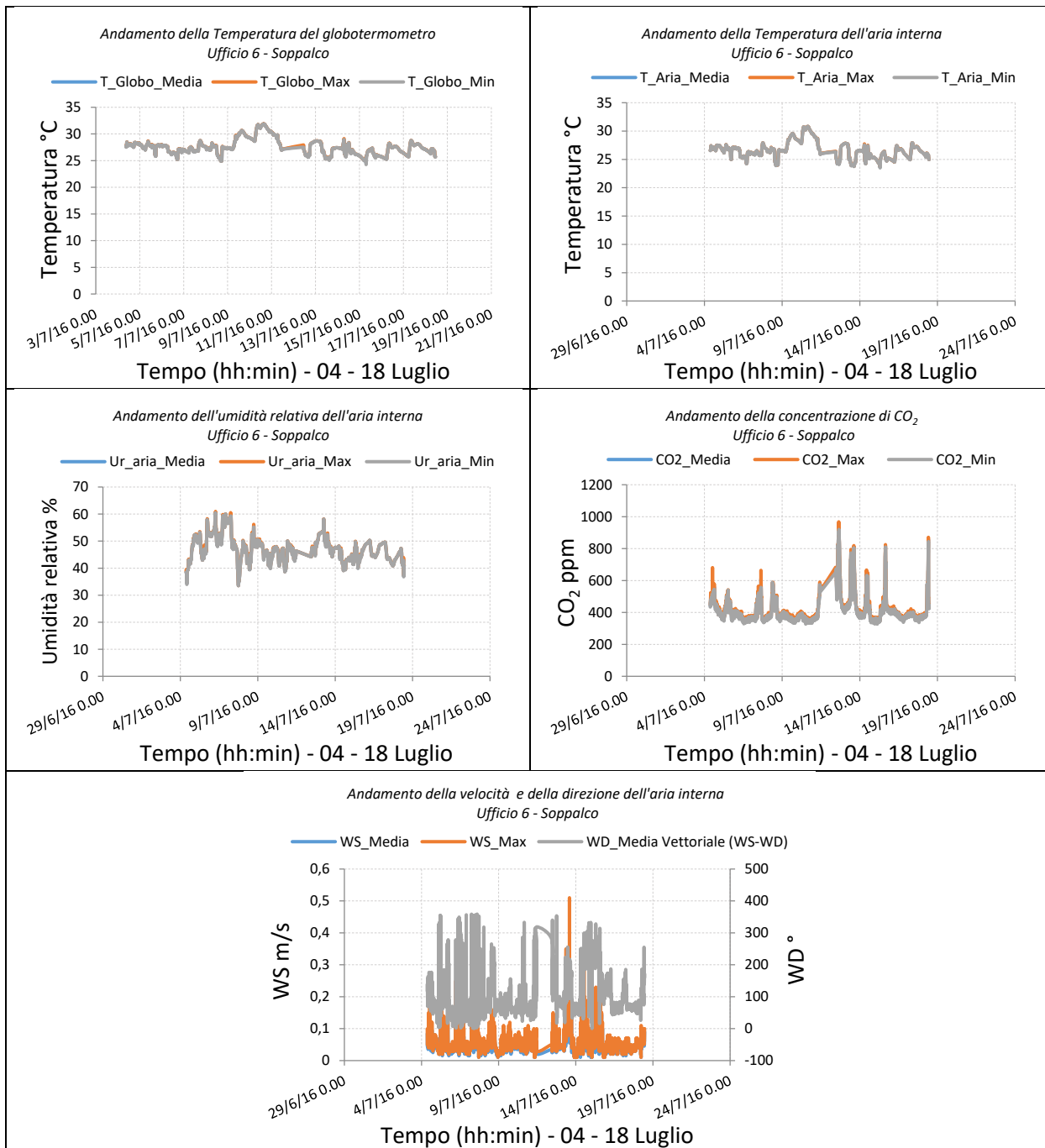


Figura 7.39. Pianta ufficio 6 – soppalco. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



14.4 Ufficio 6 – Piano terra – Centralina 5

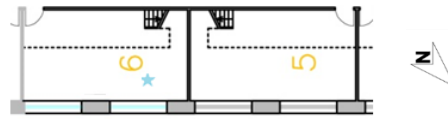
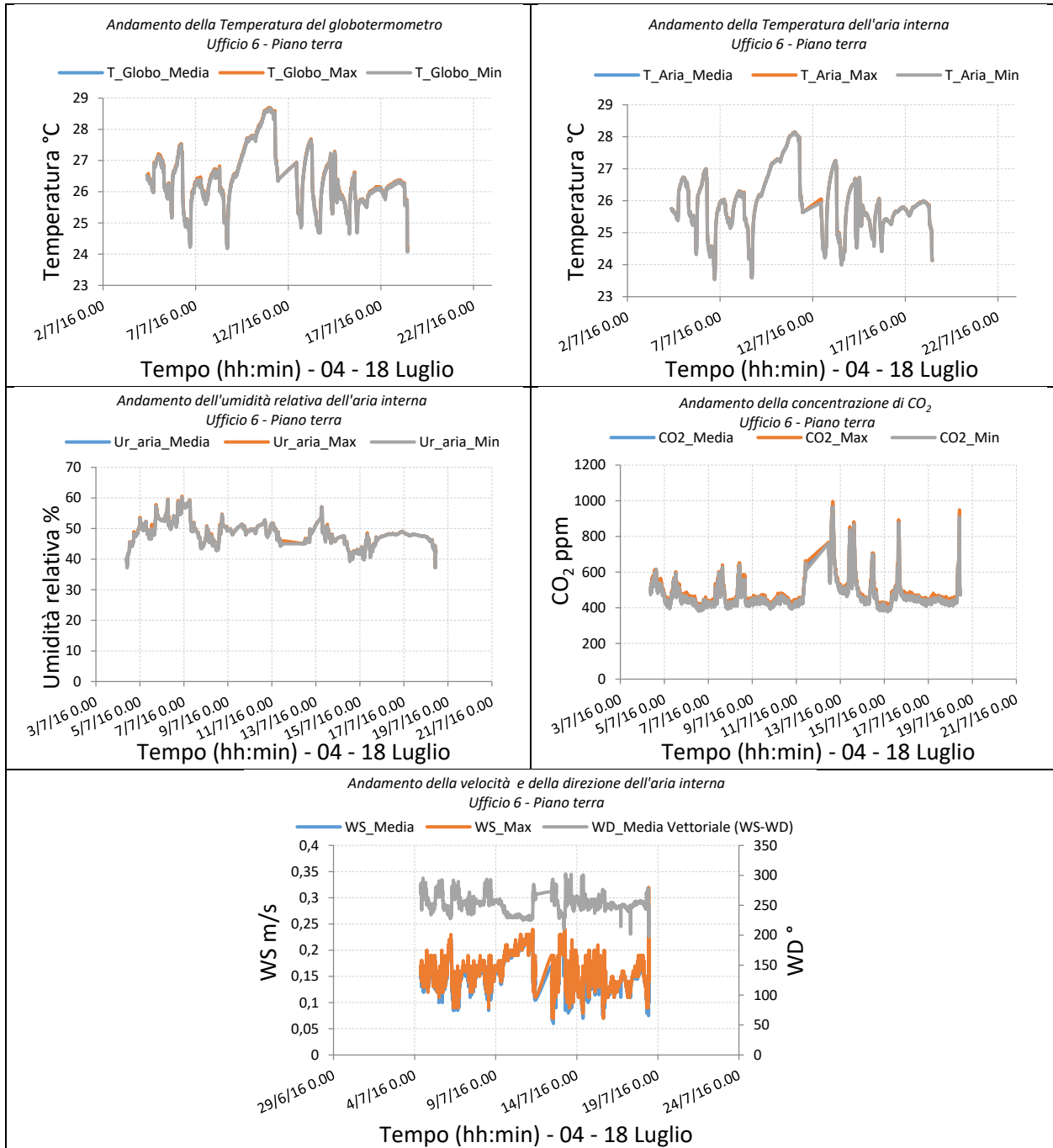


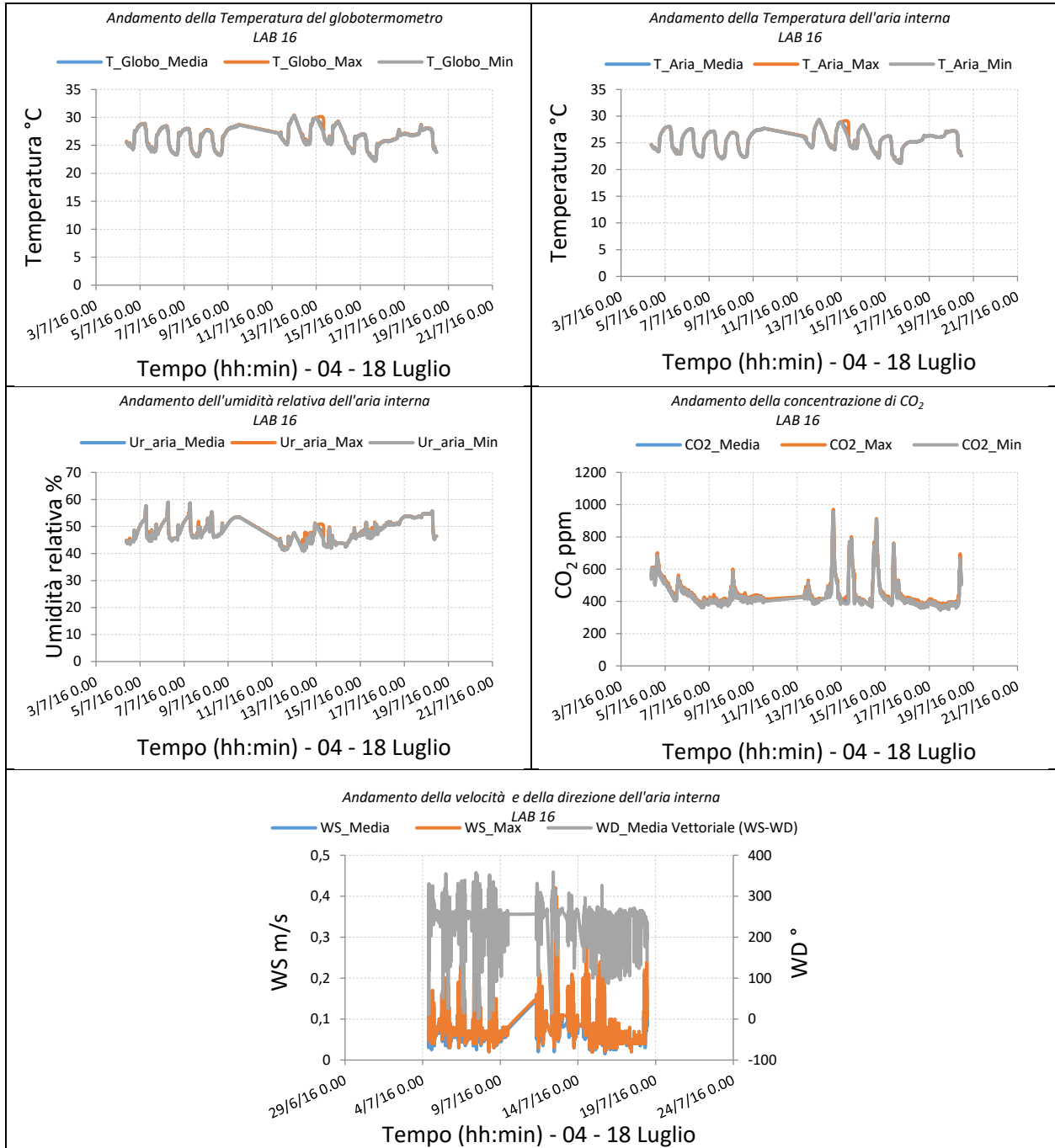
Figura 7.40. Pianta ufficio 6 – piano terra. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



14.5 LAB 16 – Centralina 4



Figura 7.41. Pianta LAB 16. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



15 Grafici relativi alle misurazioni dei parametri ambientali Periodo 18 - 25 Luglio

15.1 Ufficio 4 – Piano terra – Centralina 1

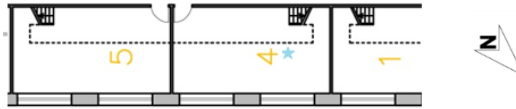
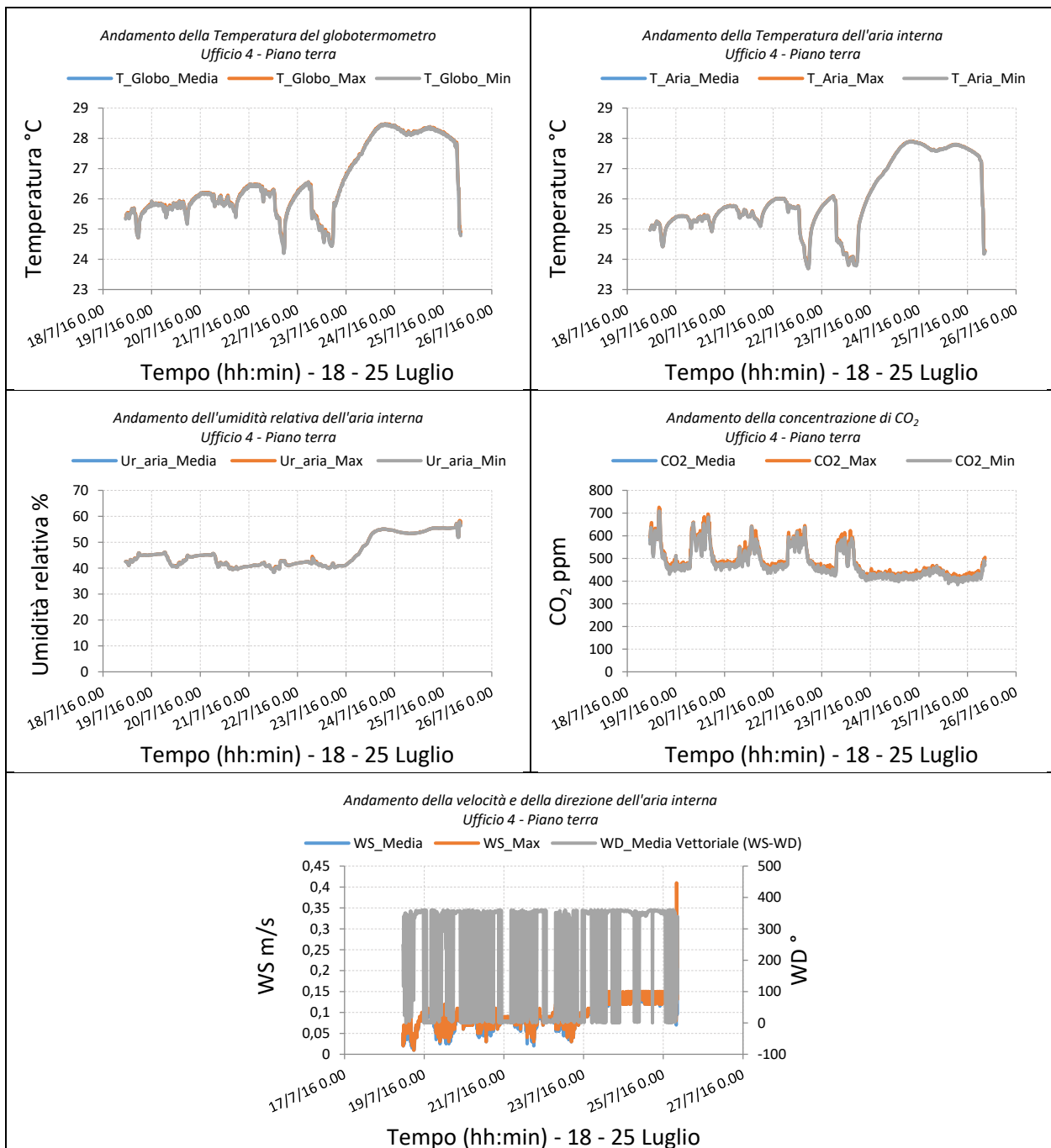


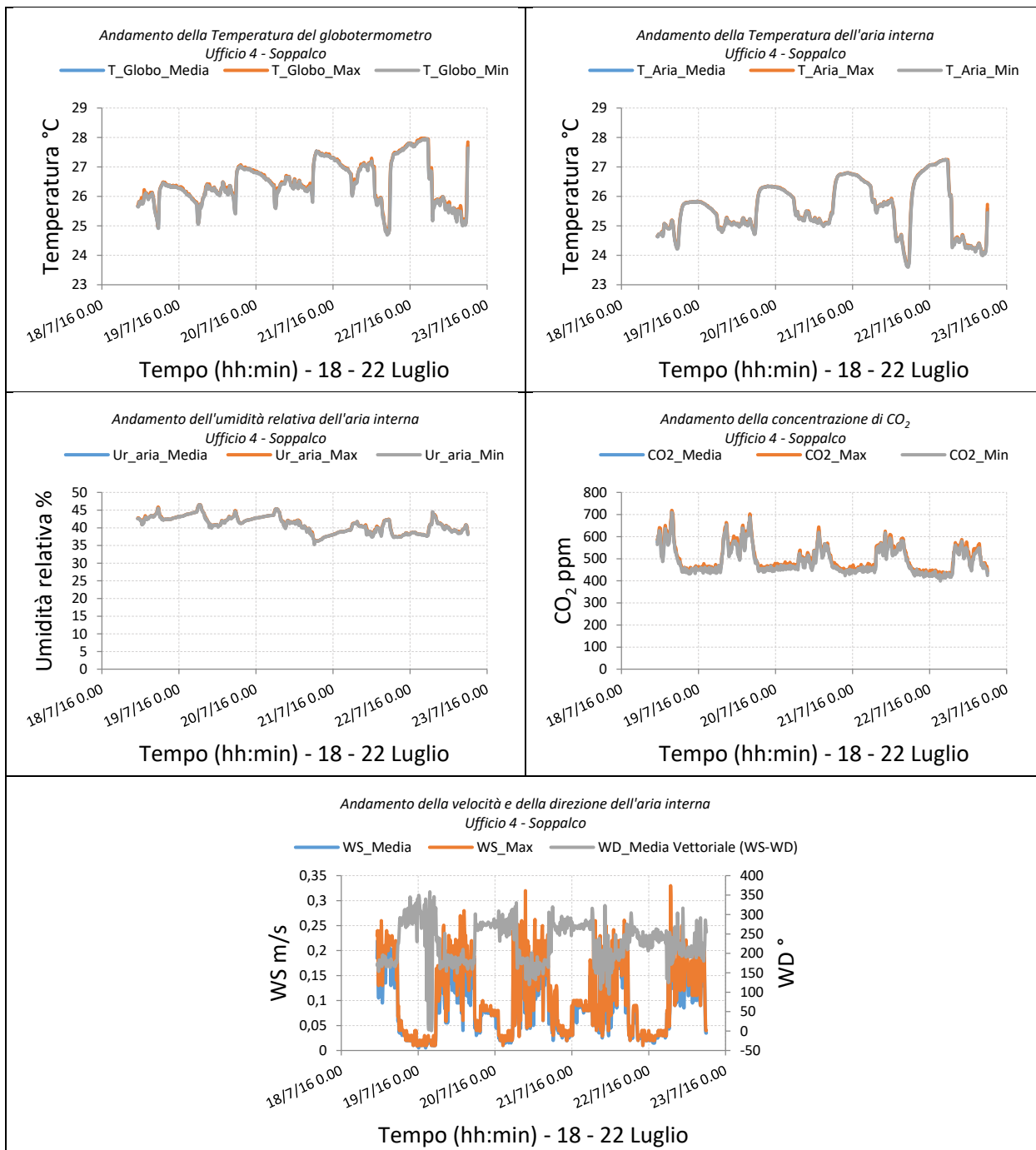
Figura 8.42. Pianta ufficio 4- piano terra. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



15.2 Ufficio 4 – Soppalco – Centralina 3



Figura 8.43. Pianta ufficio 4- soppalco. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



15.3 Ufficio 9 – Piano terra – Centralina 2

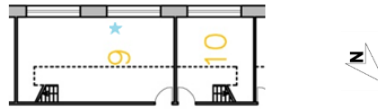
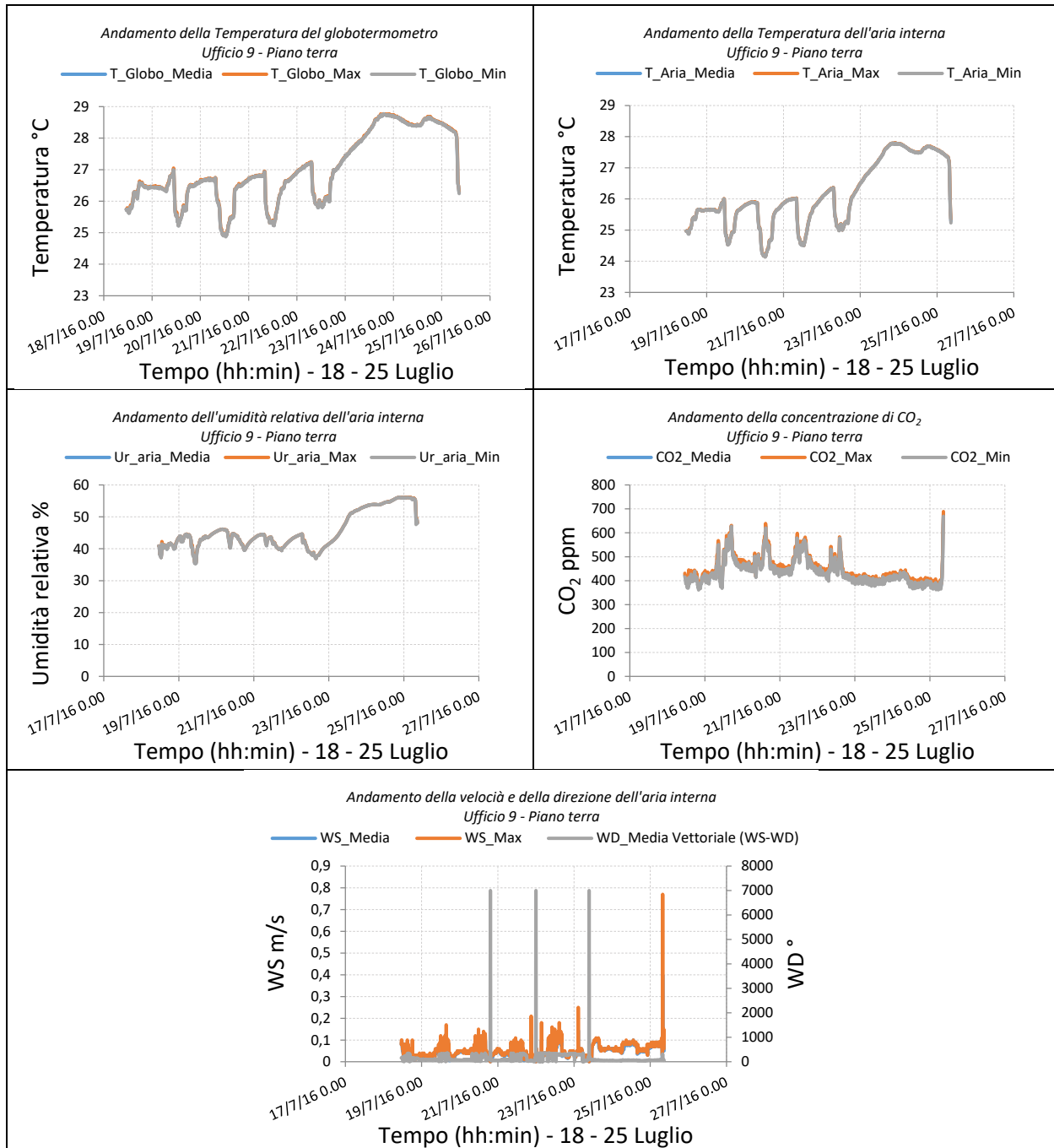


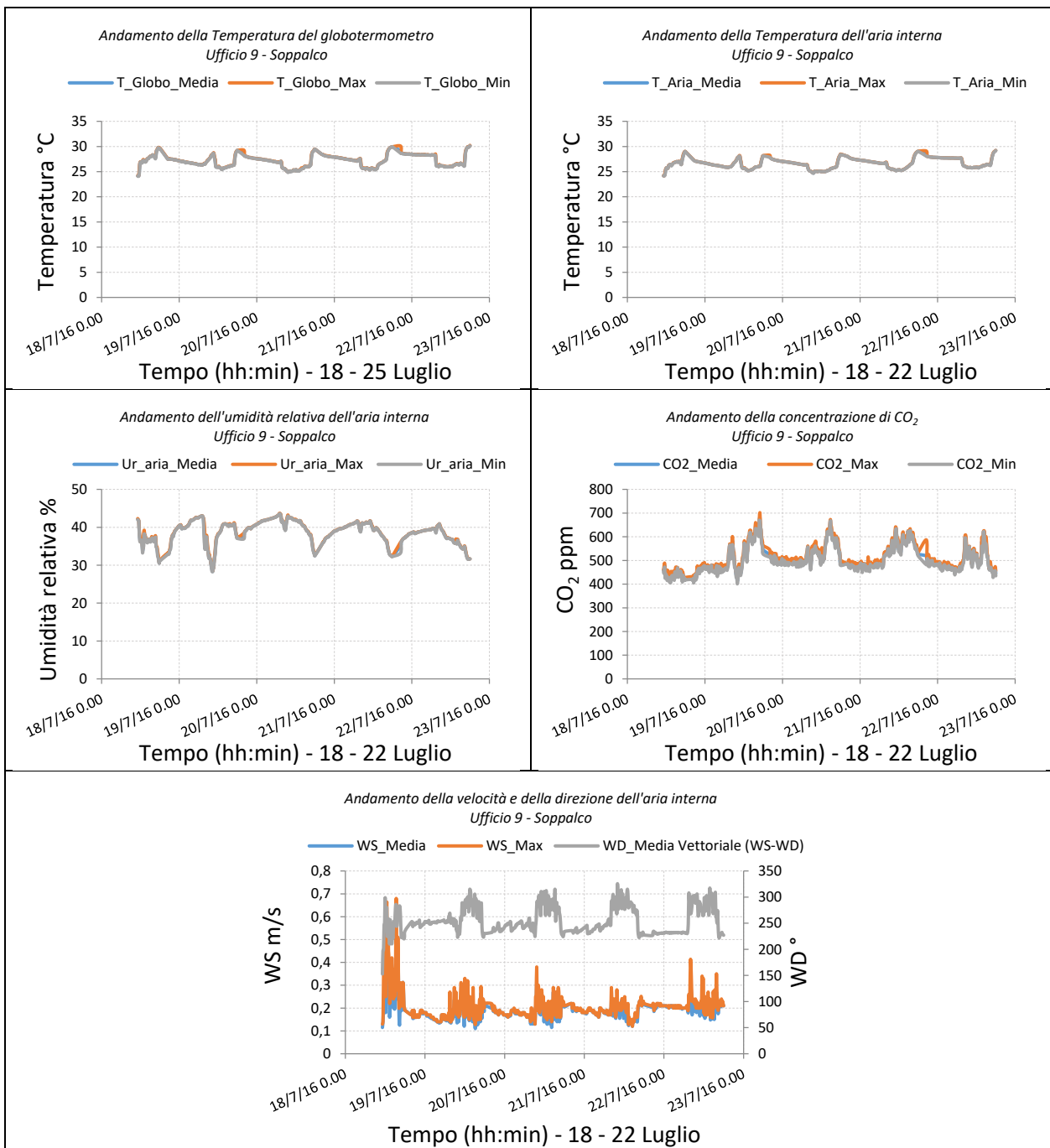
Figura 8.44. Pianta ufficio 9 – piano terra. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



15.4 Ufficio 9 – Soppalco – Centralina 5



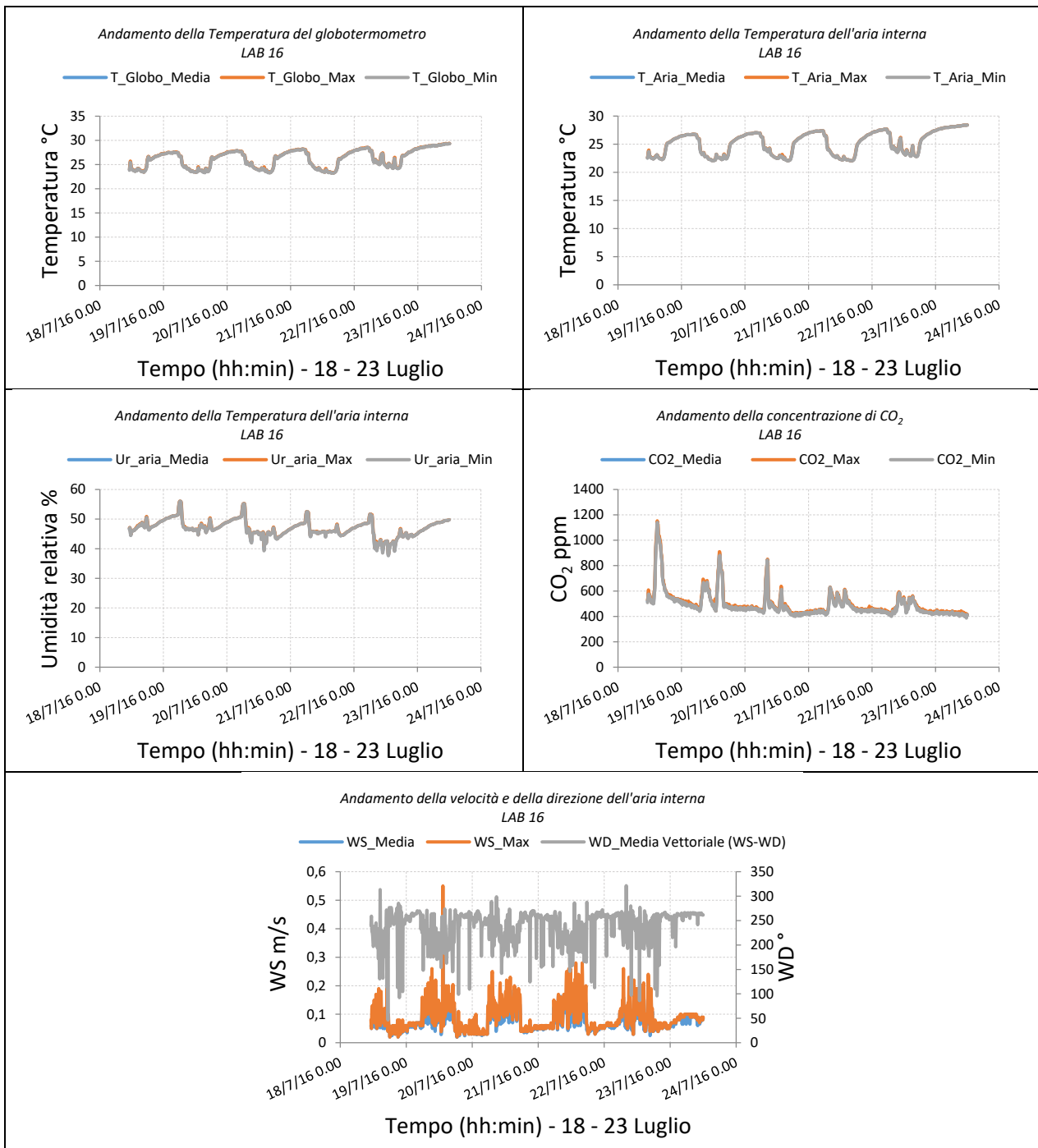
Figura 8.45. Pianta ufficio 9 – soppalco. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



15.5 LAB 16 – Centralina 4



Figura 8.46. Pianta LAB 16. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.

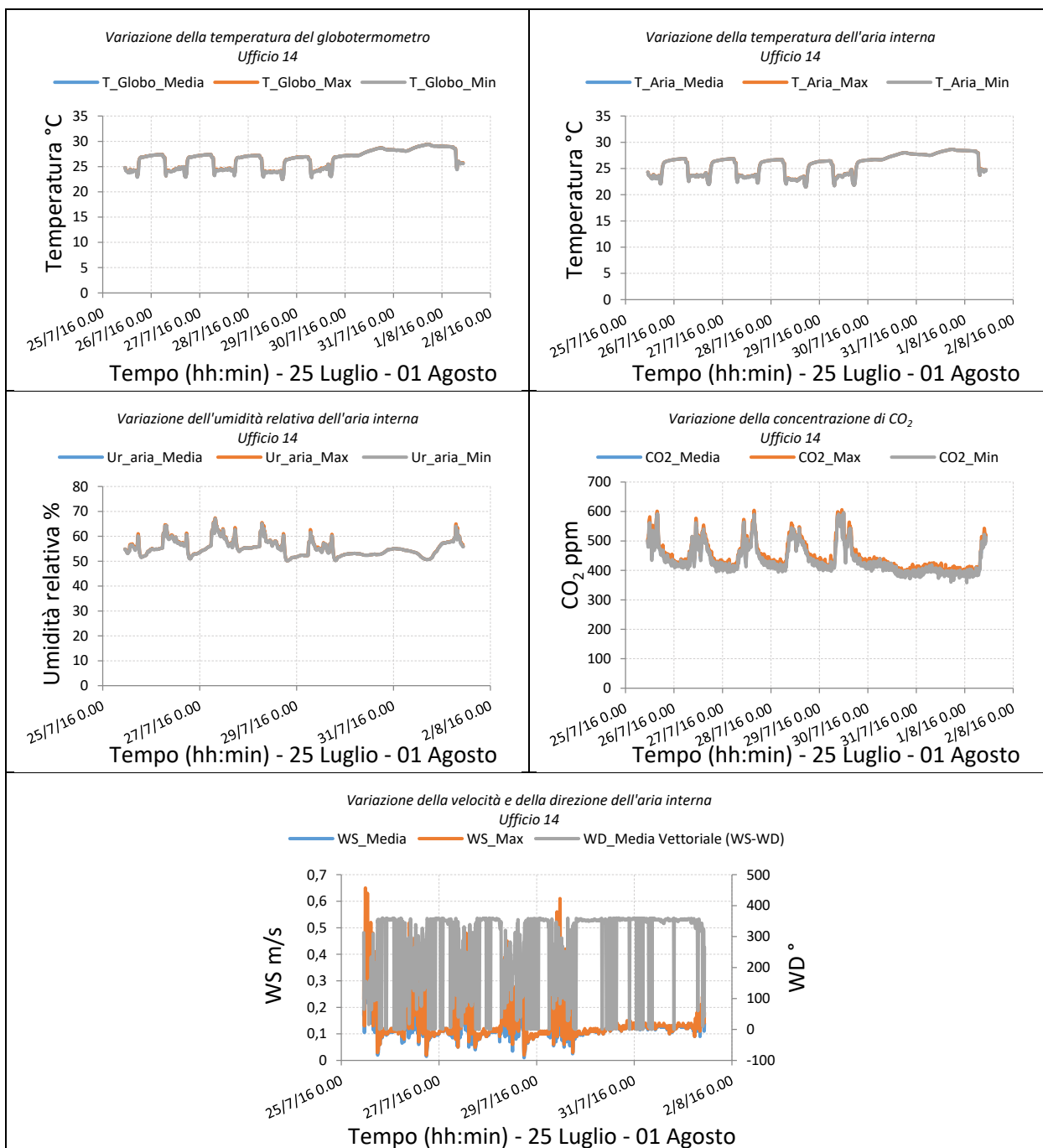


16 Grafici relativi alle misurazioni dei parametri ambientali Periodo 25 Luglio - 01 Agosto

16.1 Ufficio 14 – Centralina 1



Figura 9.47. Pianta ufficio 14. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



16.2 Ufficio 11 – Centralina 2

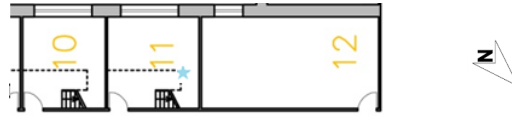
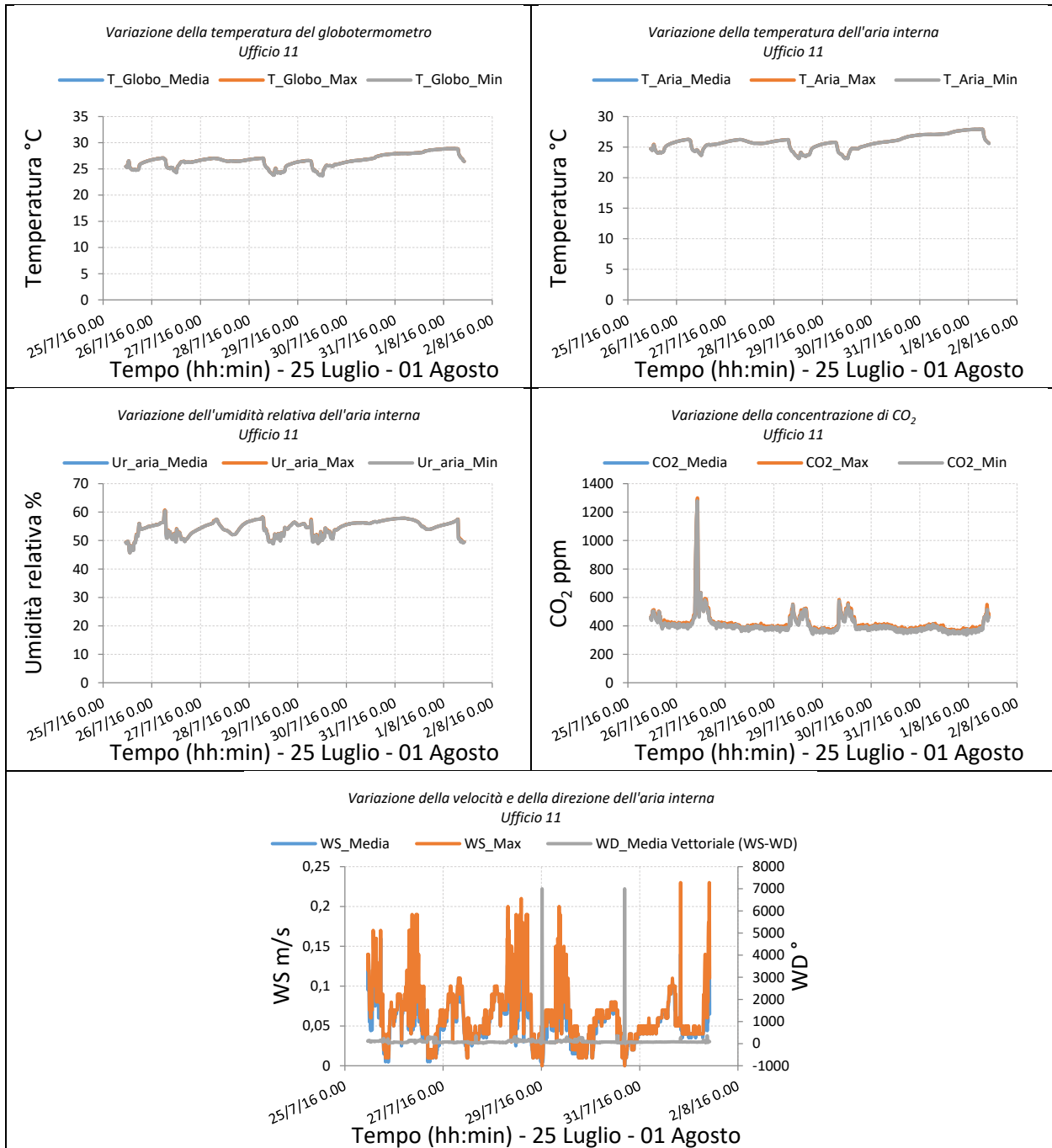


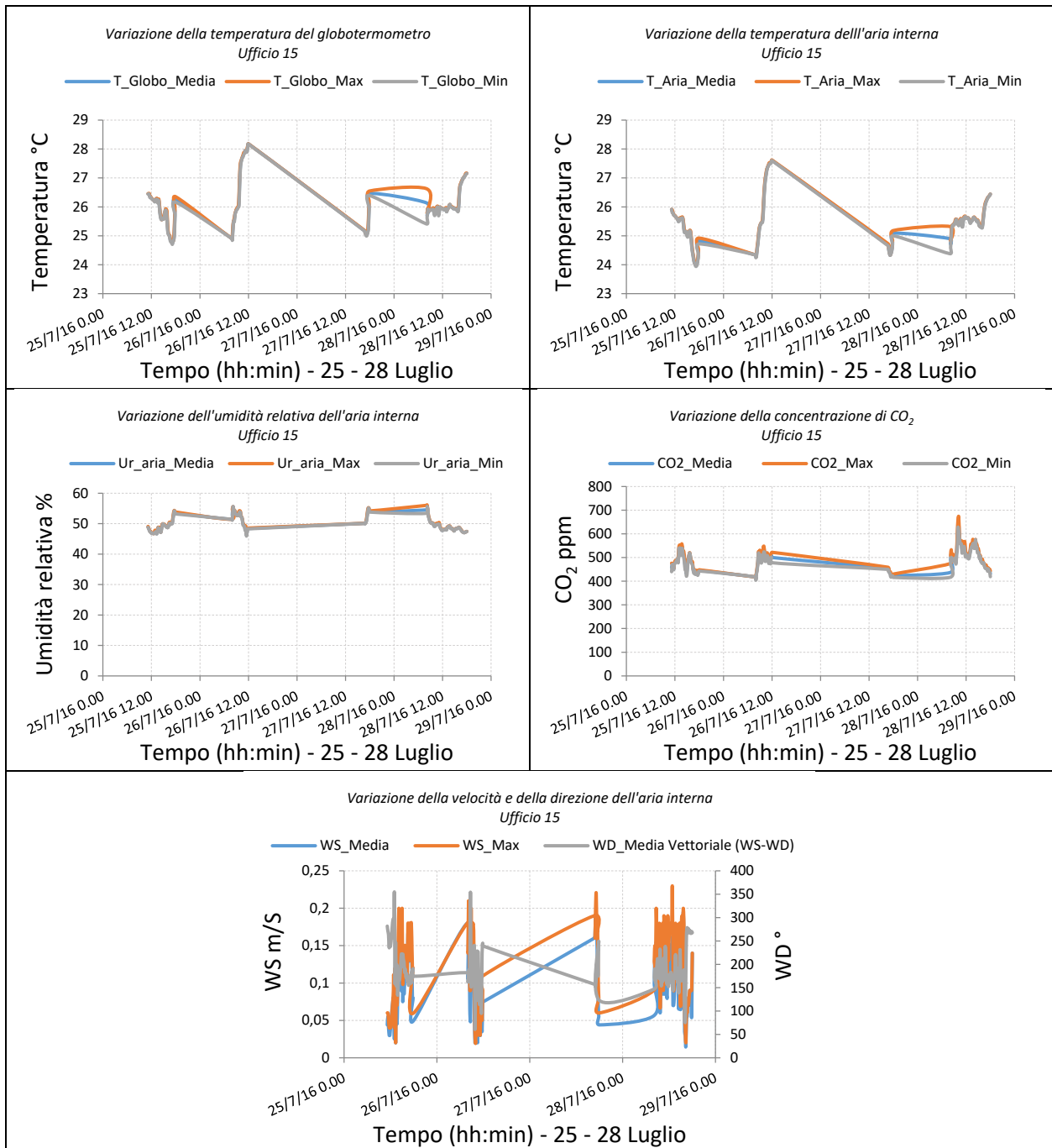
Figura 9.48. Pianta ufficio 11. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



16.3 Ufficio 15 – Centralina 3



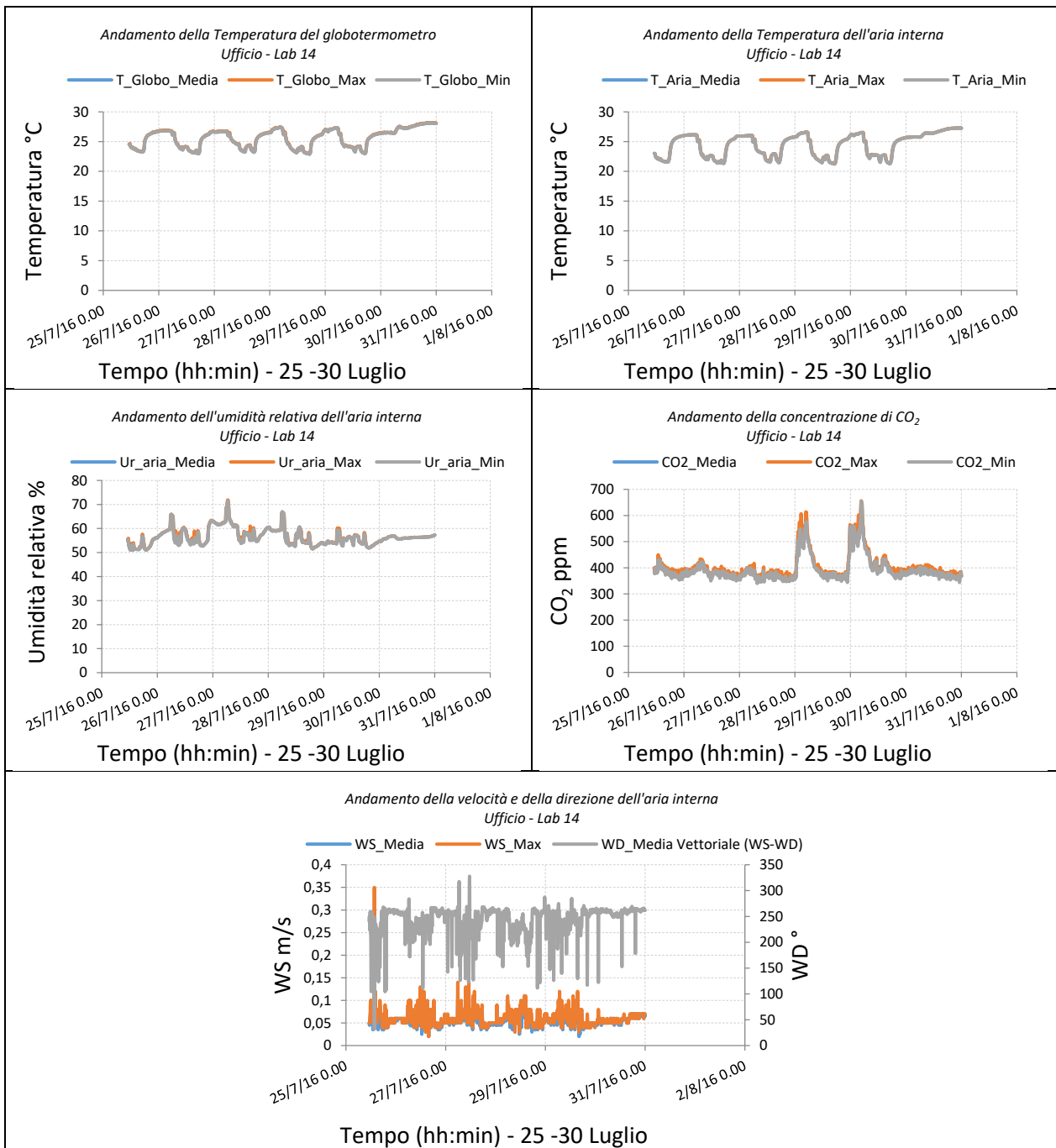
Figura 9.49. Pianta ufficio 15. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



16.4 Ufficio – Lab 14 – Centralina 4



Figura 9.50. Pianta ufficio-lab 14. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.



16.5 Ufficio 10 – Centralina 5

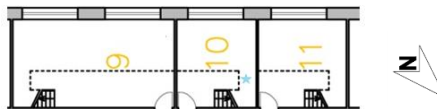


Figura 9.51. Pianta ufficio 10. Il posizionamento della centralina è indicato dalla stellina celeste.

